

TUGAS AKHIR - TM 145547

ANALISA PENGARUH VARIASI TEMPERATUR  
*REFORMING* TERHADAP STRUKTUR MIKRO  
DAN KEKUATAN TARIK PADA BAJA SS400

TADJUDIN AULIA WIJAYA  
NRP 2114 030 004

Dosen Pembimbing  
Ir. Eddy Widiyono, M.Sc.  
NIP. 19601025 198701 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
Surabaya 2017



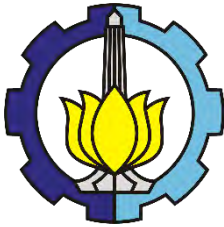
FINAL PROJECT - TM 145547

# ANALYSIS OF REFORMING TEMPERATURE VARIATION EFFECT TO MICRO STRUCTUR AND TENSILE STRENGTH AT SS400 STEEL

TADJUDIN AULIA WIJAYA  
NRP. 2114 030 004

Counselor Lecturer  
Ir. EDDY WIDIYONO, M.Sc.  
NIP. 19601025 198701 1 001

DIPLOMA III STUDY PROGRAM  
INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT  
VOCATION FACULTY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2017



TUGAS AKHIR - TM 145547

ANALISA PENGARUH VARIASI TEMPERATUR  
*REFORMING* TERHADAP STRUKTUR MIKRO  
DAN KEKUATAN TARIK PADA BAJA SS400

TADJUDIN AULIA WIJAYA  
NRP 2114 030 004

Dosen Pembimbing  
Ir. Eddy Widiyono, M.Sc.  
NIP. 19601025 198701 1 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA III  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
Surabaya 2017

# **ANALISA PENGARUH VARIASI TEMPERATUR REFORMING TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKUATAN TARIK PADA BAJA SS400**

**Nama Mahasiswa** : Tadjudin Aulia Wijaya  
**NRP** : 2114 030 004  
**Jurusan** : Departemen Teknik Mesin  
Industri Fakultas Vokasi - ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Eddy Widiyono, M.Sc

## **Abstrak**

*Dalam industri kereta api Indonesia khususnya dalam hal pembuatan underframe kereta menggunakan baja SS400 sebagai material utamanya. Maka penting untuk mengetahui sifat mekaniknya agar tidak mudah terjadi kerusakan saat penggunaan kereta api akibat pengaruh dari perlakuan panas dalam pembuatan underframe kereta tersebut.*

*Pada penelitian kali ini akan dilakukan analisa pada material baja karbon rendah SS400. Pertama dimulai dengan persiapan spesimen, uji unsur, pemotongan spesimen SS400, kemudian dilanjutkan dengan perlakuan panas hardening suhu 900°C yang bertujuan simulasi tegangan sisa karena pada saat pembuatan underframe kereta api mendapat deformasi karena proses pengelasan, setelah itu dipanaskan kembali untuk membantu proses reforming menggunakan suhu 400°C, 600°C, 800°C.*

*Ditinjau dari hasil perlakuan panas reforming pada suhu 800°C mempunyai kekuatan tarik maksimum 463,704 Mpa dan yield strength sebesar 377,778 Mpa. Struktur Mikro pearlite 46% dan ferrite sebesar 54%. Oleh karena itu suhu 800°C menjadi pilihan utama yang digunakan untuk memanaskan material kembali sebelum reforming, karena tidak banyak merubah struktur mikro dan kekuatan tarik material.*

**Kata kunci : SS400, hardening, reforming, kekuatan tarik, struktur mikro**

# **ANALYSIS OF REFORMING TEMPERATURE VARIATION EFFECT TO MICRO STRUCTURE AND TENSILE STRENGTH AT SS400 STEEL**

**Student Name : Tadjudin A. Wijaya**  
**NRP : 2114030004**  
**Department : Mechanical Industrial Engineering**  
**FV-ITS**  
**Final Project Adviser : Ir. Eddy Widiyono, M.Sc**

## **Abstract**

*In the Indonesian railway industry, especially in terms of making underframe using low carbon steel as the main material. It is important to know its mechanical properties in order to avoid unwanted damage when the train is being used as transportation because of the effect from heat treatment in the making of the train underframe. Because of it, that research happen.*

*In this research will be analyzed on SS400 low carbon steel material. The first begins with the preparation of specimens, elemental tests, SS400 specimen cuts, and then proceeded by heat hardening temperatures of 900°C aimed at simulating the manufacture of residual stresses because at the time of making the rail underframe got deformation due to welding process, after which it was reheated to assist the reforming process using temperature 400°C, 600°C, 800°C.*

*Viewed from the result of heat treatment reforming at temperature of 800°C has a maximum tensile strength of 463,704 Mpa and yield strength equal to 377,778 Mpa. The micro structure is pearlite 46% and ferrite is 54%. Therefore the temperature of 800°C becomes the main choice used to reheat the material before reforming, since it does not change the micro structure and tensile strength of the material*

**KeyWord : SS400, Hardening, Reforming, Tensile Test, Structure Micro**

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISA PENGARUH VARIASI TEMPERATUR REFORMING TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKUATAN TARIK PADA BAJA SS400

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya  
Bidang Studi Manufaktur  
Program Studi D-III  
Departemen Teknik Mesin Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Oleh :

**Tadjudin Aulia Wijaya**  
**NRP. 2114 030 004**

Mengetahui/Menyetujui:  
(Dosen Pembimbing)

**Ir. Eddy Widiono, M.Sc.**

**NIP. 19601025 198701 1 001**

**SURABAYA, JULI 2017**

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat-NYA, sehingga penyusunan tugas Akhir dapat terselesaikan. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi - ITS untuk bisa dinyatakan lulus.

Dalam penyusunan buku ini, penulis berusaha menerapkan ilmu yang didapat selama menjalani perkuliahan di D3 Teknik Mesin Industri. Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan buku ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Eddy Widiyono, M.Sc selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, saran dan masukan saat mengerjakan penelitian ini sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan dengan tepat pada waktunya.
2. Bapak Dr. Heru Mirmanto, ST, MT selaku Kepala Departemen Diploma Teknik Mesin Fakultas Vokasi - ITS. Terima kasih atas segala bantuan dan motivasinya.
3. Bapak Ir. Suhariyanto, MT selaku Kepala Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS dan koordinator Tugas Akhir.. Terima kasih atas segala bantuan dan motivasinya.
4. Bapak Ir. Arino A Mengsc selaku dosen wali yang telah banyak memberikan saran dan masukan sebagai wali saya selama kuliah.
5. Tim dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam rangka perbaikan tugas akhir ini.
6. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Jurusan D3 Teknik Mesin Fakultas Vokasi - ITS, yang

telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.

7. Orang tua tercinta Bapak Samsi, S.Pd., M.Pd. dan Ibu Harlin prasetyowati, S.E., serta Adik saya Poppy sofyalani zuhro, dan Zaki aulia winata yang selalu memberikan doa kesuksesan serta dukungan dalam bentuk apapun.
8. Teman-teman Grader Laboratorium Metalurgi D3 Teknik Mesin ITS yang telah banyak membantu fasilitas laboratorium selama proses pengujian Tugas Akhir ini.
9. Teman – teman seperjuangan Ismah Fawaiz, Adelina Irawati, Septa Ria, Dimas Wisnu, Imam Sakroni yang telah berjuang bersama selama proses pengujian.
10. pihak yang telah membantu dalam pengerjaan benda kerja dan perbaikan oven : mas Sapto Wisasno
11. Dan semua pihak yang membantu, mendoakan dan menyemangati saya yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari sepenuhnya, bahwa buku ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak. Akhir kata, semoga buku ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya D3 Teknik Mesin FV-ITS.

Surabaya, Juli 2017

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan masalah .....	2
1.5 Manfaat penilitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II DASAR TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Material.....	5
2.2 Baja SS400 .....	6
2.3 Uji Unsur Senyawa (OES).....	7
2.4 Laku panas .....	9
2.4.1 Laku Panas Kondisi Tidak Setimbang .....	10
2.4.1.2 Pengerasan (Hardening).....	11
2.4.1.2 Tempering .....	12
2.4.2 Laku Panas Kondisi Setimbang.....	14
2.4.2.1 Normalizing .....	14
2.5 Forging .....	15
2.6 Pengelasan .....	16
2.6.1 Deformasi dan Tegangan Sisa .....	17
2.7 Metalography Test.....	17
2.7.1 Metode Perhitungan Presentase Mikro Strektur .....	19
2.7.2 Menghitung Rata-Rata Besar Butir .....	19
2.7.3 Macam-Macam Struktur Mikro.....	20

2.8 Uji Tarik .....	24
2.8.1 Sifat Mekanik di Daerah Plastik .....	25
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>29</b>
3.1 Flowchart Penelitian .....	29
3.2 Bahan .....	30
3.3 Benda Uji .....	30
3.3.1 Benda Uji Tarik .....	31
3.3.2 Benda Uji Metallografi .....	31
3.4 Prosedur Laku Panas .....	32
3.4.1 Hardening .....	32
3.4.2 Perlakuan Panas Kembali .....	32
3.5 Pengujian .....	32
3.5.1 Uji Tarik .....	32
3.5.2 Uji Metallografi .....	33
3.6 Langkah Percobaan .....	34
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>37</b>
4.1 Uji Komposisi .....	37
4.2 Material Awal .....	38
4.2.1 Uji Metallografi Material Awal .....	38
4.2.2 Uji Tarik Material Awal .....	39
4.3 Hardening (Simulasi Tegangan Sisa) .....	40
4.3.1 Uji Metallografi Material Hardening .....	40
4.3.2 Uji Tarik Material Hardening .....	41
4.4 Perlakuan Panas Kembali .....	42
4.4.1 Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Kembali Terhadap Struktur Mikro .....	45
4.4.2 Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Kembali Terhadap Kekuatan Tarik .....	49
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>57</b>
5.1 Kesimpulan .....	57
5.2 Saran .....	57
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>59</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIODATA</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Panjang Gelombang Spektrum UV Dan Spektrum Kasat Mata .....	7
Gambar 2.2 Alat PMI Master Pro-2 .....	8
Gambar 2.3 Tampilan Pancaran Cahaya Yang Masuk Kedalam Detektor .....	9
Gambar 2.4 Diagram TTT Baja Hypoeutectoid .....	13
Gambar 2.5 Transformasi Proses Tempering .....	13
Gambar 2.6 Daerah Temperatur Laku Panas Ekuilibrium ....	14
Gambar 2.7 Batas Temperatur Pengerjaan Panas .....	16
Gambar 2.8 Pantulan Sinar Pada Metalografi Test .....	17
Gambar 2.9 Garis Bantu Menghitung Presentase Tiap Struktur Mikro .....	19
Gambar 2.10 Garis Bantu Intercept Counting ASTM E112 ..	20
Gambar 2.11 Struktur Mikro Ferrit .....	21
Gambar 2.12 Struktur Mikro Pearlite .....	21
Gambar 2.13 Struktur Mikro Austenite .....	22
Gambar 2.14 Struktur Mikro Cementite .....	22
Gambar 2.15 Struktur Mikro Bainite .....	23
Gambar 2.16 Struktur Mikro Martensite .....	23
Gambar 2.17 Bentuk Patahan .....	25
Gambar 2.18 Diagram Tegangan Regangan Nominal Material Ulet .....	27
Gambar 3.1 Flowchart Diagram .....	29
Gambar 3.2 Dimensi Spesimen .....	30
Gambar 3.3 Benda Uji Metalografi .....	31
Gambar 3.4 Alat Uji Tarik .....	33
Gambar 3.5 Mikroskop Optik .....	34
Gambar 4.1 Material Uji Komposisi .....	37
Gambar 4.2 Material Uji Metalografi .....	38
Gambar 4.3 Sampel Material Uji Tarik Kondisi Awal .....	39
Gambar 4.4 Material Hardening Uji Metalografi .....	40
Gambar 4.5 Sampel Material Uji Tarik Yang Di Hardening	42

Gambar 4.6 Sempel Spesimen Uji Tarik Perlakuan Panas Tempering.....	43
Gambar 4.7 Diagram Presentase Fasa Uji Metalografi Suhu 400°C Dan 600°C.....	46
Gambar 4.8 Diagram Presentase Fasa Uji Metalografi Suhu 800°C .....	46
Gambar 4.9 Diagram Nilai Grain Size (G) Metalografi.....	48
Gambar 4.10 Diagram Nilai Yiled Strength Dan UTS Material Tempa .....	50
Gambar 4.11 Diagram Yield Strength Dan UTS Material Tanpa Tempa .....	52
Gambar 4.12 Diagram Presentase Elongation Material Tempa .....	52
Gambar 4.13 Diagram Presentase Elongation Material Tanpa Tempa .....	53
Gambar 4.14 Diagram Modulus Ketangguhan Material Tempa .....	54
Gambar 4.15 Diagram Modulus Ketangguhan Material Tanpa Tempa .....	55

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Komposisi Kimia Baja SS400 .....	30
Tabel 3.2 Kekuatan Mekanik Material SS400 .....	30
Tabel 3.3 Standart Dimensi Uji Tarik .....	31
Tabel 4.1 Hasil uji komposisi kimia .....	37
Tabel 4.2 Komposisi Kima SS400 .....	37
Tabel 4.3 Hasil Uji Mikro struktur Material Awal .....	38
Tabel 4.4 Nilai Besar Butir Struktur Mikro Kondisi Awal .....	38
Tabel 4.5 Data Hasil Uji Tarik Material Awal .....	39
Tabel 4.6 Data Proses Hardening .....	40
Tabel 4.7 Hasil Uji Struktur Mikro Hardening .....	41
Tabel 4.8 Nilai Besar Butir Struktur Mikro Hardening .....	41
Tabel 4.9 Data Hasil Uji Tarik Material Hardening .....	42
Tabel 4.10 Data Proses Laku Panas Kembali SS400 suhu 400°C .....	43
Tabel 4.11 Data Proses Laku Panas Kembali SS400 suhu 600°C .....	43
Tabel 4.12 Data Proses Laku Panas Kembali SS400 suhu 900°C .....	44
Tabel 4.13 Data Hasil Uji Metalografi .....	45
Tabel 4.14 Nilai Besar Butir Struktur Mikro Material Tempering .....	48
Tabel 4.15 Data Hasil Uji Tarik Material Temperingn Tempa .....	49
Tabel 4.16 Data Hasil Uji Tarik Material Tempering Tanpa Tempa .....	51

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Baja adalah salah satu jenis logam yang paling banyak digunakan dalam bidang teknik. Penggunaan baja dapat disesuaikan dengan kebutuhan karena banyak sekali macamnya.

Dengan sifat dan karakter yang berbeda-beda. Kemampuan baja sendiri sebenarnya sangat dipengaruhi oleh kadar karbon atau unsur-unsur paduan lain yang terdapat di dalamnya. Dengan penambahan atau pengurangan kadar karbon atau unsur-unsur paduan lain akan diperoleh kekuatan baja sesuai dengan yang diinginkan.

Bahan teknik yang mempunyai keuletan dibagian inti dan kekerasan di bagian permukaan sangat diperlakukan karena hal itu dapat memperpanjang umur dari bahan itu sendiri apalagi bila bahan tersebut selalu bekerja untuk menahan beban dan melakukan gerak. Baja merupakan salah satu bahan yang mampu memenuhi persyaratan tersebut, tetapi baja tersebut harus mengalami proses perlakuan terlebih dahulu.

Perlakuan panas merupakan salah satu proses yang berperan dalam industri manufaktur dengan tujuan untuk proses produksi. Proses perlakuan panas adalah kombinasi dari operasi pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam dalam keadaan padat, sebagai upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu. Dalam proses pembuatannya melalui rekayasa teknik atau perlakuan panas dapat membentuk sifat baja yang diinginkan. proses ini dilakukan dengan pemanasan baja pada suhu tertentu, dipertahankan pada waktu tertentu dan didinginkan pada media tertentu.

Salah satu permasalahan dalam perlakuan panas suatu material logam itu ialah apabila sebuah baja memiliki kekerasan yang tidak sesuai dengan penggunaan. Hal yang

harus diperhatikan untuk mengatasi masalah tersebut ialah dengan cara mengetahui pengaruh variasi pendinginan saat proses perlakuan panas pada material yang digunakan. Sehingga dari analisa tersebut dapat mengetahui material yang cocok dipakai untuk kendaraan.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan analisa pada material baja SS400 mempunyai kadar karbon rendah, yang digunakan untuk membuat underframe kereta api di PT.INKA. Dalam pembuatan underframe baja SS400 mengalami proses pengelasan menyebabkan terdapat tegangan sisa dan terjadinya deformasi, didalam penelitian ini untuk mendapat tegangan sisa disimulasikan pada perlakuan panas *hardening*. Dilanjutkan dengan proses pemanasan kembali untuk memudahkan proses *reforming* dengan tempa bertujuan untuk mengembalikan bentuk material yang mengalami deformasi plastis. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan sifat mekanik material meliputi kekuatan tarik dan struktur mikro material

## **1.2 Rumusan masalah**

Dari penelitian tersebut ada beberapa rumusan masalah yang muncul sebagai pertanyaan pedoman agar sesuai dengan apa yang penulis inginkan, diantara rumusan masalah tersebut adalah :

1. Bagaimana struktur mikro material baja SS400 yang telah di reforming dengan variasi suhu pemanasan.
2. Bagaimana kekuatan tarik material baja SS400 yang telah di reforming dengan variasi suhu pemanasan.
3. Bagaimana suhu reforming yang tepat digunakan.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dalam penulisan ini adalah :

1. Mengetahui berapa kekuatan tarik pada baja karbon SS400 yang telah reforming dengan variasi suhu pemanasan.



2. Mengetahui struktur mikro material baja SS400 yang telah di reforming dengan variasi suhu pemanasan.
3. Mengetahui suhu reforming yang tepat digunakan.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai masalah yang dikaji dalam penulisan ini, maka perlu kiranya diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Perubahan temperatur pada media pendingin di abaikan.
2. Penelitian ini hanya membahas mikro struktur dan kekuatan tarik

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Dari penelitian ini, penulis mengharapkan manfaat dengan memberikan kontribusi pada dunia akademis dan praktisi tentang pengaruh laku panas serta *forging* terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro pada baja karbon SS400.

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan disusun untuk memberikan gambaran penjelasan mengenai isi dari setiap bab-bab, diantaranya :

##### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan secara singkat tinjauan secara umum mengenai latar belakang, rumusan permasalahan, batasan masalah, tujuan, sistematika penulisan dan manfaat.

##### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan beberapa teori penunjang yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini.

##### **BAB III METODOLOGI**

Bab ini menjelaskan metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi dan langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.

#### **BAB IV HASIL DAN ANALISA**

Membahas tentang hasil pengujian diantaranya adalah pengujian kekerasan dan pengujian metalografi.

#### **BAB V PENUTUP**

Membahas tentang kesimpulan dari hasil analisis dan saran-saran penulis.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

Berisi tentang referensi – referensi yang terkait dengan materi pembahasan, berupa buku, jurnal terdahulu, maupun website yang dijadikan acuan.

#### **LAMPIRAN**

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Material**

Baja merupakan salah satu jenis logam yang banyak digunakan dengan unsur karbon sebagai salah satu dasar campurannya. Di samping itu baja juga mengandung unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya dengan jumlah yang dibatasi. Sifat baja pada umumnya sangat dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Karbon dengan unsur campuran lain dalam baja membentuk karbid yang dapat menambah kekerasan, tahan gores dan tahan suhu baja. Perbedaan prosentase karbon dalam campuran logam baja karbon menjadi salah satu cara mengklasifikasikan baja. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

1. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah mengandung karbon dalam campuran kurang dari 0,3%. Baja ini bukan termasuk baja yang keras karena mengandung karbonnya yang rendah kurang dari 0,3%. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbon tidak cukup untuk membentuk struktur martensit.

2. Baja karbon menengah

Baja karbon menengah mengandung karbon 0,3%C - 0,6%C dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan dengan perlakuan panas yang sesuai. Baja karbon sedang lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah.

3. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi mengandung 0,6%C – 1,5% dan memiliki kekerasan tinggi namun keuletannya lebih rendah, berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang

optimal dikarenakan terlalu banyak martensit sehingga membuat baja menjadi getas.

Sifat mekanis baja juga dipengaruhi oleh cara mengadakan ikatan karbon dengan besi. Menurut schonmetz (1985) terdapat 3 bentuk utama kristal saat karbon mengadakan ikatan dengan besi, yaitu :

1. Ferrit yaitu besi murni (Fe) yang terletak rapat saling berdekatan tidak teratur, baik bentuk maupun besarnya. Ferrit merupakan bagian baja yang paling lunak, ferrit murni tidak akan cocok digunakan sebagai bahan untuk benda kerja yang menahan beban karena kekuatannya kecil.
2. Karbida besi ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), suatu senyawa kimia antara besi dengan karbon sebagai struktur tersendiri yang dinamakan sementit. Peningkatan kandungan karbon akan menambah kadar sementit. Sementit dalam baja merupakan unsur yang paling keras.
3. Pearlite merupakan campuran antara ferrit dan sementit dengan kandungan karbon sebesar 0,8%. Struktur pearlite mempunyai kristal ferrit tersendiri dari serpihan sementit halus yang saling berdamping dalam lapisan tipis mirip lamel. Proses pengerasan pada baja menengah akan memberikan hasil yang lebih optimal dibandingkan dengan baja karbon yang lain karena kandungan karbon yang cukup banyak dapat membentuk martensit untuk menambah kekerasan baja.

## **2.2 Baja SS 400**

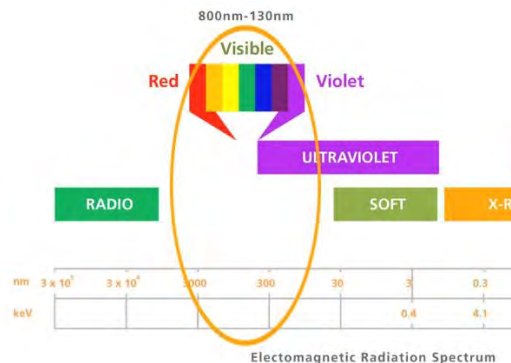
Baja SS 400 merupakan material untuk pembuatan *underframe* kereta api di PT. INKA. SS disini merupakan kepanjangan dari *structural steel*, baja struktural adalah bahan yang digunakan untuk konstruksi.

SS400 didalam buku JIS G3101 mempunyai komposisi kimianya karbon (C), Manganese (Mn), Silikon (Si), Sulfur (S) dan Posfor (P) yang dipakai untuk aplikasi struktur atau konstruksi umum seperti pembuatan jembatan, kapal laut, kerangka kereta dan

tangki minyak, hal ini dikarenakan SS400 mudah dalam proses pengerjaannya seperti dalam pengelasan, dan proses permesinannya. Baja SS400 yang memiliki kandungan kadar karbon 0.16% C, baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam struktur baja kurang dari 0,3% C. Baja karbon rendah ini memiliki ketangguhan dan keuletan yang tinggi akan tetapi memiliki sifat kekerasan dan ketahanan aus yang rendah.

## 2.3 Uji Unsur Senyawa (OES)

Optical Emission Spectrometry (OES) digunakan untuk analisis unsur-unsur kimia secara simultan dari berbagai logam. Jenis sampel yang dapat diuji menggunakan OES padat dalam produksi logam seperti besi pejal dan pla. Bagian dari spektrum elektromagnetik yang digunakan oleh OES mencakup spektrum kasat mata dan spektrum UV dengan panjang gelombang 130 nm hingga 800 nm OES dapat menganalisis berbagai elemen dari Lithium ke Uranium.



**Gambar 2.1** Panjang Gelombang Spektrum UV dan Spektrum Kasat Mata

Cara kerja analisa OES mengandung tiga komponen utama, yang pertama adalah sumber listrik yang merangsang atom

dalam sampel logam sehingga logam tersebut memancarkan cahaya, hal tersebut di ikuti dengan pemanasan bagian kecil dari sampel logam. Pemanasan tersebut menggunakan sumber tegangan listrik melalui elektroda dan gas argon. Spektrometer memisahkan panjang gelombang spesifik dari sinar yang dipancarkan oleh tiap-tiap unsur. Sinar yang dipancarkan selanjutnya diubah menjadi sinyal listrik yang kemudian dikonversi menjadi konsentrasi berdasarkan intensitas sinar yang dipancarkan.

Komponen kedua adalah sistem optik. Cahaya yang membentuk beberapa garis optik yang berasal dari pemanasan sampel dikenal sebagai plasma memantulkan cahaya masuk kedalam spektrometer. Sebuah difraksi gradasi di spektrometer memisahkan cahaya yang masuk dengan panjang gelombang spesifik berdasarkan dengan unsur tertentu dan detektor yang mengukur setiap panjang gelombang sesuai dengan intensitas cahaya. Intensitas cahaya diukur sebanding dengan konsentrasi yang terdapat dalam sampel.

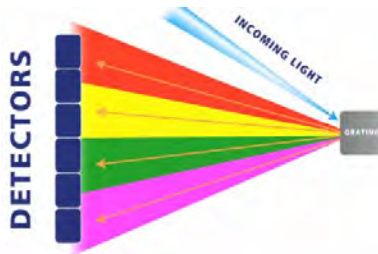
Komponen ketiga adalah sistem komputer yang mengontrol pengukuran intensitas dan memproses data ini melalui kalibrasi yang telah ditetapkan untuk menghasilkan konsentrasi unsur. Hasil akan muncul dalam monitor yang dapat disimpan.



**Gambar 2.2** Alat PMI Master Pro-2

Garis emisi optik unsur muncul dari sampel logam ketika pelepasan energi listrik berinteraksi dengan atom, beberapa kulit

elektron yang terdapat bagian terluar atom karena mendapat energi maka elektron yang paling jauh dari inti akan dikeluarkan. Kekosongan tersebut membuat atom tidak stabil. Untuk memulihkan stabilitas, elektron dari orbit yang lebih tinggi akan ditarik untuk mengisi kekosongan tersebut. Kelebihan energi diproyeksikan sebagai elektron bergerak antara tingkat energi dua atau kurang yang menimbulkan pancaran energi dalam bentuk cahaya elemen spesifik atau emisi optik. Setiap elemen memancarkan serangkaian garis spektrum yang sesuai dengan transisi elektron yang berbeda antara tingkat energi. Setiap transisi menghasilkan garis emisi optik khusus dengan panjang gelombang tetap. Cahaya spesifik yang dipancarkan atom dalam sampel logam tersebut dipindahkan ke sistem optik dimana dibagi berdasarkan panjang gelombang.



**Gambar 2.3** Tampilan Pancaran Cahaya yang Masuk Kedalam Detektor

## 2.4 Laku Panas

Laku panas adalah merupakan proses pengubahan sifat logam, melalui pengubah struktur logam dalam keadaan padat, dengan cara kombinasi dari operasi pemanasan dan pengaturan laju pendinginan. Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa proses laku panas berguna untuk mendapatkan sifat mekanik berdasarkan dengan kebutuhan. Proses perlakuan panas paling sering diberikan kepada baja dalam proses produksinya. Proses laku panas pada baja pada umumnya akan melibatkan transformasi atau

dekomposisi austenit inilah yang akan menentukan sifat fisik dan mekanik baja yang mengalami proses laku panas.

Dalam proses laku panas kita memanaskan spesimen sampai dengan temperature tertentu. Setelah temperature yang di inginkan telah tercapai, benda kerja dibiarkan pada temperature tersebut dalam jangka waktu tertentu agar temperature homogenya diseluruh benda kerja. Proses ini disebut dengan homogenisasi. Setelah itu, dengan mengatur laju pendinginan akan didapat sifat dan struktur logam yang diinginkan. Pada umumnya didalam proses pemanasan dilakukan hingga mencapai temperatur austenitnya. Temperatur austenit tergantung pada kadar karbon baja yang diproses. Faktor pembeda antara proses laku panas satu dengan lainnya ialah :

1. Tinggi temperatur pemanasan
2. Lama waktu penahanan
3. Pengaturan laju pendinginan

#### **2.4.1 Laku Panas Kondisi Tidak Setimbang (Non Equilibrium)**

Proses Laku Panas yang dilakukan pada keadaan yang tidak setimbang. Hal ini dilakukan dengan cara memberikan pendinginan cepat pada logam yang sudah dipanaskan sehingga tidak ada kesempatan bagi material yang sudah dipanaskan untuk mencapai kondisi yang setimbang karena waktu yang dibutuhkan untuk transformasi tidak cukup. Jenis perlakuan panas seperti ini bertujuan untuk mendapat nilai kekerasan lebih tinggi. Jenis dari perlakuan panas non equilibrium antara lain, *Hardening, Martempering, Austempering, surface hardening (Carburizing, Sianiding, Flame hardening, Induction hardening, Nitriding)*.

1. Temperatur austenitising:
  - a. Baja hypoeutektoid adalah baja dengan kadar C antara 0,02-0,76 %. Dipanaskan  $25 - 50^{\circ}\text{C}$  di atas temperatur kritis atas  $A_3$

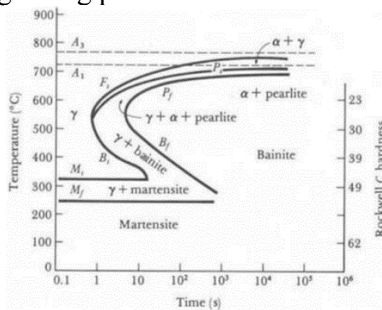


- b. Baja hypereutektoid Baja dengan kadar C antara 0,8-2,14%. dipanaskan 25 – 50 °C di atas temperatur kritis bawah  $A_1$

#### 2.4.1.1 Pengerasan (Hardening)

Pengerasan adalah salah satu laku panas dengan kondisi non equilibrium yaitu laku panas yang pendinginannya berlangsung pada kondisi non equilibrium (pendinginan yang sangat cepat) sehingga struktur mikro yang diperoleh adalah struktur mikro yang tidak equilibrium. Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan sebuah benda terhadap penetrasi atau daya tembus dari bahan lain yang lebih keras.

Pada waktu pendinginan yang cepat pada fase austenit tidak sempat berubah menjadi ferit atau perlit karena tidak ada kesempatan bagi atom-atom karbon yang telah larut dalam austenit untuk mengadakan pergerakan difusi dan bentuk sementit oleh karena itu terjadi fase mertsinit, ini berupa fase yang sangat keras dan bergantung pada keadaan karbon.



**Gambar 2.4** Diagram TTT baja hypoeutectoid

Martensit adalah fasa metastabil terbentuk dengan laju pendinginan cepat, semua unsur paduan masih larut dalam keadaan padat. Setelah temperatur

austenite tercapai, ditahan dalam selang waktu tertentu (holding time) kemudian didinginkan cepat.

#### **2.4.1.2 Tempering**

Baja yang telah dilaku panas pengerasan akan menghasilkan struktur martensit setelah didinginkan secara cepat (quenching). Pada kondisi ini biasanya material menjadi sangat getas, sehingga tidak cukup baik untuk berbagai pemakaian. Pembentukan martensit juga meninggalkan tegangan sisa yang sangat tinggi, oleh karena itu pada umumnya setelah proses pengerasan atau *hardening* kemudian segera diikuti dengan proses pemanasan kembali atau proses tempering. Proses tempering ini dilakukan untuk menghilangkan atau mengurangi tegangan sisa dan mengembalikan sebagian keuletan dan ketangguhannya. Dengan kembalinya sebagian keuletan/ketangguhan ini maka sebagian kekerasan yang telah dicapai pada proses pengerasan akan berkurang.

Suhu pemanasan proses tempering dapat dibedakan sebagai berikut :

1. Tempering suhu rendah

Tempering ini mempunyai suhu pemanasan 150°-300°C. Proses ini tidak akan menghasilkan penurunan kekerasan yang berarti. Tempering pada suhu rendah ini untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan kerapuhan dari baja. Biasanya untuk alat-alat potong, mata bor dan sebagainya

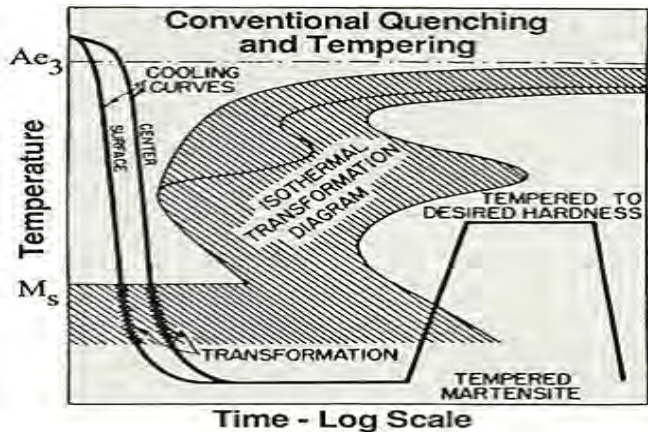
2. Tempering suhu menengah

Tempering ini mempunyai suhu pemanasan 300°-550°C. Tempering pada suhu sedang bertujuan untuk menambah keuletan dan sedikit menurunkan kekerasan. Proses ini digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya pegas palu, dan pahat.

3. Tempering suhu tinggi

Tempering ini mempunyai suhu pemanasan 550°-650°C. Tempering pada suhu tinggi bertujuan memberikan daya keuletan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi agak rendah, misalnya pada roda gigi, poros, batang penggerak dan sebagainya.

Pada dasarnya baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh. Melalui proses tempering, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Pada saat proses tempering, proses difusi dapat terjadi yaitu karbon dapat melepaskan diri dari martensit yang berarti kelutan dari baja naik, akan tetapi kekuatan tarik dan kekerasan menurun.



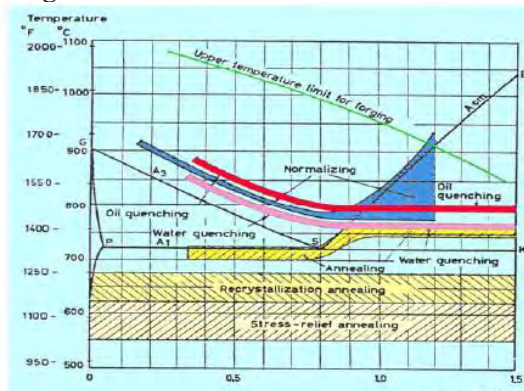
**Gambar 2.5** Tranformasi Proses Tempering

Dari gambar 2.5 dijelaskan bahwa proses *tempering* dilakukan dengan memanaskan kembali baja yang telah dikeraskan pada temperatur di bawah temperatur kritis bawah ( $A_1$ ), kemudian ditahan beberapa saat pada temperatur tertentu, selanjutnya didinginkan kembali. Dari

proses *tempering* tentunya banyak energi yang disalurkan tidak hanya tergantung pada temperatur tetapi juga pada waktu penahanan (*holding time*), pada gambar tersebut dilakukan holding time yang sama yaitu selama 1 jam. Semua hasil transformasi *martensite* disebut *martensite temper*.

### 2.4.2 Laku Panas Kondisi Setimbang (*Near Equilibrium*)

Laku panas kondisi setimbang dilakukan dengan kondisi setimbang atau paling tidak mendekati kondisi setimbang. Tujuan umum dari perlakuan panas jenis ini diantaranya adalah untuk melunakkan struktur Kristal, menghaluskan butir, menghilangkan tegangan dalam dan memperbaiki *machineability*. Jenis dari perlakuan panas near equilibrium, antara lain: *annealing*, *stress relief annealing*, *process annealing*, *sphreoidizing*, dan *normalizing*,



**Gambar 2.6** Daerah Temperatur Laku Panas Ekuilibrium

#### 2.4.2.1 Normalizing

*Normalizing* adalah suatu proses pemanasan logam hingga mencapai fase austenit yang kemudian diinginkan secara perlahan-lahan dalam media

pendingin udara. Hasil pendingin ini berupa perlit dan ferit. Prinsip dari proses normalizing adalah untuk mengembalikan kondisi material seperti semula biasanya bersifat lunak. *Normalizing* dapat juga dilakukan pada benda hasil tempa untuk menghilangkan tegangan dalam. Sehingga sifat mekanisnya menjadi lebih baik.

## **2.5 Penempaan (Forging)**

Forging adalah proses pembentukan logam untuk pembentukan logam untuk menghasilkan produk akhir dengan memberikan gaya tekan dengan laju pembebanan tertentu. Pada pembentukan ini, benda kerja di pukul atau ditekan dengan perkakas melalui beberapa tahapan.

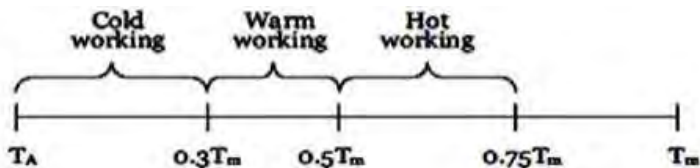
Proses tempa diklasifikasikan menjadi 2 yaitu hot working dan cold working. Hot working ialah pengerjaan tempa yang dilakukan pada temperatur rekristalisasi atau diatas suhu  $723^{\circ}\text{C}$ . Cold working merupakan pembentukan logam dibawah temperatur rekristalisasi atau dibawah temperatur  $723^{\circ}\text{C}$ . Untuk menjadi produk akhir, biasanya pembentukan dengan forging dilakukan secara bertahap.

Penempaan bebas umumnya digunakan untuk meningkatkan nilai kekuatan, namun jarang digunakan dalam studi perbaikan butiran baja, karena sulit untuk mempertahankan temperatur yang konstan selama proses penempaan. Akibat penempaan akan terjadi perubahan mikrostruktur dan timbul tegangan sisa yang merubah sifat mekanis bahan, jika tegangan sisa terlalu besar, akan terjadi deformasi dan penyebab keretakan.

Pengerjaan panas meliputi proses deformasi yang dilaksanakan dibawah kondisi temperatur dan laju rengangan tertentu. Pengerjaan panas biasanya dilakukan pada suhu diatas  $0,6 T_m$ . Perubahan struktur selama pengerjaan panas dapat meningkatkan keuletan dan ketangguhan. Namun terdapat beberapa kekurangan karena pengerjaan panas dengan temperatur

tinggi mengakibatkan terjadi reaksi permukaan logam dengan udara sekitar.

Pengerjaan panas pada logam akan mengakibatkan struktur dan sifat-sifat logam yang tidak seragam karena deformasi selalu lebih besar pada permukaan. Logam akan mengalami butir rekristalisasi yang lebih halus pada permukaan. Hal ini dapat dihindari dengan batas temperatur pengerjaan panas. Gambar 2.5 menunjukkan batas temperatur pengerjaan panas pada logam adalah sebagai berikut:



**Gambar 2.7** Batas temperatur pengerjaan panas

Proses pengerjaan panas dilakukan secara bertahap. Pada umumnya suhu pengerjaan tahap pertama berada di atas batas bawah temperatur pengerjaan panas untuk memanfaatkan tahanan alir yang lebih rendah. Ada kemungkinan terjadi pertumbuhan butir setelah proses rekristalisasi karena biasanya dibutuhkan produk berbutir halus pada saat terakhir temperatur kerja diturunkan, sehingga pertumbuhan butir pada pendinginan dapat diabaikan. Temperatur akhir biasanya sedikit diatas temperatur derajat deformasi pada tahap terakhir harus relatif besar.

## 2.6 Pengelasan

Pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekan yang menghasilkan sambungan. Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas, meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, pipa saluran dan sebagainya. Disamping untuk pembuatan, proses las dapat juga

dipergunakan untuk reparasi misalnya untuk mengisi lubang-lubang pada coran. Membuat lapisan las pada perkakas mempertebal bagian-bagian yang sudah aus, dan macam –macam reparasi lainnya.

### **2.6.1 Deformasi dan Tegangan Sisa**

Deformasi adalah Perubahan bentuk akibat adanya tegangan dalam logam las yaitu tegangan memanjang dan tegangan melintang. Dalam hal ini distorsi atau deformasi ini disebabkan oleh ekspansi yang tidak uniform dari logam las selama periode pemanasan dan pendinginan. Bila pendinginan ini dibiarkan membeku secara bebas maka volume dari logam cair tersebut akan mengalami penyusutan secara bebas.

Tegangan sisa adalah gaya elastis yang dapat mengubah jarak antar atom dalam bahan tanpa adanya beban dari luar. Tegangan sisa ditimbulkan karena adanya deformasi plastis yang tidak seragam dalam suatu bahan, antara lain akibat perlakuan panas yang tidak merata atau perbedaan laju pendinginan pada bahan yang mengalami proses pengelasan.

Dalam proses pengelasan, bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat dan selama pemanasan berjalan terjadi pengembangan termal dan pelelehan logam. Pada saat proses pengelasan dihentikan, mulai terjadi proses selanjutnya yaitu proses pendinginan. Proses ini merupakan awal terbentuknya tegangan sisa karena terjadinya proses pembekuan diikuti adanya penyusutan volum bahan. Penyusutan volum bahan menyebabkan terjadinya regangan. Regangan pada bahan akan menyebabkan terjadinya tegangan yang sifatnya tetap dan disebut tegangan sisa.

## **2.7 Metalography Test**

Ilmu logam secara garis besar dibagi menjadi 2 yaitu metalurgi dan metalography. Metalurgi yaitu ilmu yang mempelajari tentang perpaduan logam dengan unsur-unsur tertentu

seperti titanium, copper, yang bertujuan untuk memperkuat atau menambah ketangguhan logam, yang digunakan untuk berbagai kebutuhan khusus seperti engine blok piston dll.

Metalografi merupakan suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan mikroskop optis dan mikroskop electron dengan perbesaran 50 – 3000 kali. Sedangkan struktur yang terlihat pada mikroskop tersebut tersebut disebut mikrostruktur. Pengamatan tersebut dilakukan terhadap spesimen yang telah diproses sehingga bisa diamati dengan pembesaran tertentu.

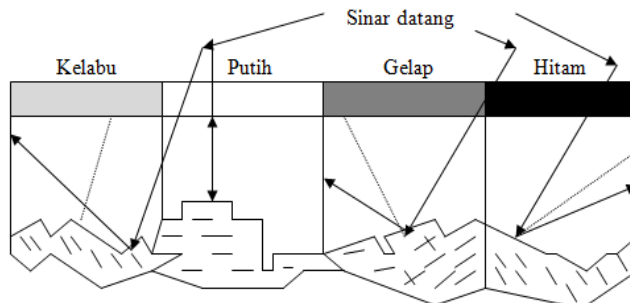
Pengujian metalography dibagi menjadi dua jenis yaitu pengujian makro dan pengujian mikro

1. Pengujian makro

Pengujian makro bertujuan untuk melihat secara visual atau kasat mata hasil seperti pada pengelasan apakah terdapat cacat atau tidak, dengan dilakukan proses etsa terlebih dahulu.

2. Pengujian mikro

Pengujian mikro bertujuan untuk melihat butiran struktur kristal dari logam yang diuji dengan menggunakan mikroskop mulai perbesaran 50-3000 kali, sehingga dapat diketahui sifat, dan struktur dari logam tersebut.

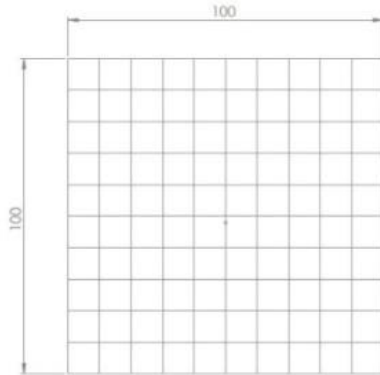


**Gambar 2.8** Pantulan Sinar Pada *Metalograph Test*



### 2.7.1 Metode Perhitungan Presentase Mikro Struktur

Untuk memudahkan menentukan presentase struktur mikro diperlukan penggambaran garis bantu pada hasil foto *Metallography Test* baik untuk perhitungan presentase tiap struktur mikro maupun perhitungan rata-rata besar butir berdasarkan ASTM E-562.



**Gambar 2.9** Garis Bantu Menghitung Presentase Tiap Struktur Mikro

Sebelumnya hasil foto *Metallografi dipotong* dengan dimensi (100x100 mm). Rumus yang digunakan untuk menentukan presentase tiap struktur mikro, yaitu:

$$P_{Ms}( ) = \frac{Q_{Ms}( )}{Q_o} \times 100\%$$

Keterangan:

$P_{Ms}( )$  : Presentase *Microstruktur* tertentu (%)

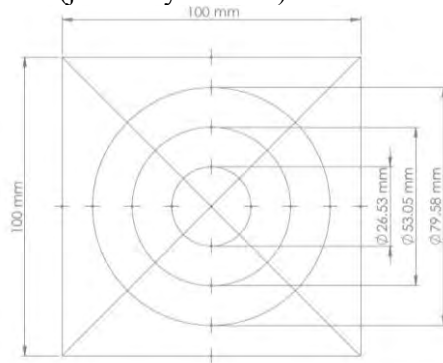
$Q_{Ms}( )$  : Jumlah titik *Microstruktur* tertentu

$Q_o$  : Jumlah titik total

### 2.7.2 Menghitung Rata-rata Besar Butir

Dengan mengetahui besar butir suatu struktur mikro kekerasan suatu material dapat ditentukan, benda kerja dengan ukuran struktur mikro yang kecil (jumlahnya banyak) akan

lebih keras dibanding benda kerja dengan ukuran struktur mikro yang besar (jumlahnya sedikit).



**Gambar 2.10** Garis Bantu Intercept Counting ASTM E112

Sebelumnya hasil foto *Metallography Test dithreshold*. Penandaan batas butir dapat hanya menggunakan 3 lingkaran ( $L_T=500mm$ ) maupun seluruh garis ( $L_T=1200mm$ ). Metode ini cocok untuk butir yang tidak beraturan. Rumus yang digunakan untuk menentukan ukuran besar butir yaitu:

$$G = (-6.645 \log \frac{L_T}{N \times M}) - 3.298$$

Keterangan:

$G$  : Grain Size Number

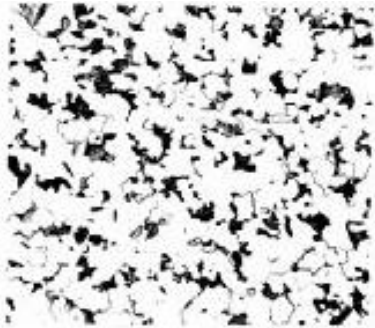
$L_T$  : Total panjang garis yang terkena batas butir (mm)

$N$  : Jumlah titik potong batas butir yang terkena garis

$M$  : Total perbesaran mikroskop

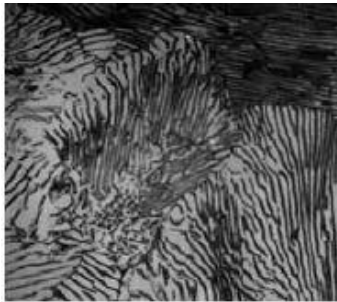
### 2.7.3 Macam-macam Struktur Mikro

Berikut ini adalah penjelasan dari berbagai gambar struktur mikro yang terkandung dalam logam :



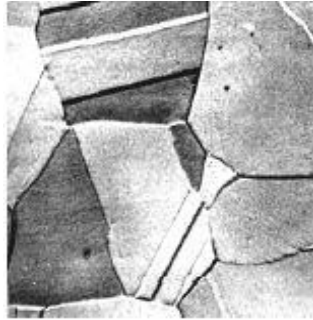
**Gambar 2.11** Struktur Mikro Ferrit

Ferrit yaitu larutan padatan interstisial karbon dalam besi  $\alpha$  dengan kadar karbon 0,025% pada suhu  $723^{\circ}\text{C}$  dan 0,008% di temperatur kamar. Berbentuk butir-butir kristal yang padat. Struktur Kristal BCC. Berwarna putih terang. Sifat mekanis lunak dan ulet (kondisi annealing). Kekerasan 140-180 HVN



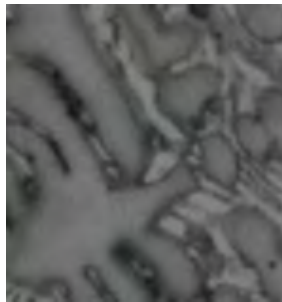
**Gambar 2.12** Struktur Mikro Pearlit

Pearlite yaitu suatu eutectoid mixture dari cementite dan ferrite terdiri dari lapisan alpha-ferrit (88%) dan cementite (12%) dengan kadar karbon 0,8% terbentuk pada suhu  $723^{\circ}\text{C}$ . Berbentuk pipih atau berlapis. Berwarna kehitaman. Sifat mekanis lunak. Kekerasan  $\pm 180\text{-}250$  HVN.



**Gambar 2.13** Struktur Mikro Austenite

Austenite yaitu larutan padat interstisial karbon dalam besi  $\gamma$  dengan kadar karbon 2%. Struktur Kristal FCC. Berbentuk padatan seperti plat. Berwarna abu-abu terang. Sifat mekanis lunak dan ulet (kondisi besi murni). Kekerasan  $\pm 390$  HVN.



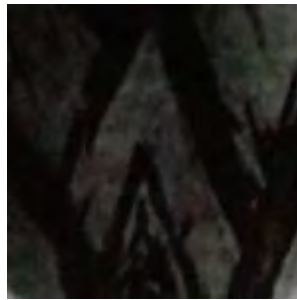
**Gambar 2.14** Struktur Mikro Cementite

Cementite yaitu karbida besi  $\text{Fe}_3\text{C}$  merupakan senyawa interstisial dengan kadar karbon 6,67%. Struktur Kristal Orthorhombik. Berbentuk jaringan (network). Berwarna putih. Sifat mekanis sangat keras dan getas. Kekerasan  $\pm 800$  HVN.



**Gambar 2.15** Struktur Mikro Bainite

Bainite yaitu aciculer mikro yang berbentuk pada baja pada suhu sekitar 250-550°C dengan kadar karbon  $<0,5\%$ . Struktur Kristal BCC. Berbentuk jarum-jarum aciculer yang tidak sejajar satu sama lain. Berwarna abu-abu gelap. Sifat mekanis sangat keras dan getas. Terjadi karena adanya pendinginan cepat dan disertai penahanan temperature. Kekerasan 300-400 HVN.



**Gambar 2.16** Struktur Mikro Martensit

Martensite yaitu struktur metastabil yang terbentuk karena proses pendinginan yang cepat atau sangat cepat pada temperatur austenitisasinya dengan kadar karbon  $>0,5\%$ . Struktur Kristal BCT. Berbentuk jarum-jarum pendek. Berwarna hitam pekat. Sifat mekanis sangat keras. Kekerasan  $> 500$  HVN

## 2.8 Uji Tarik

Uji tarik merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan. Dengan menarik suatu bahan dapat diketahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat uji untuk uji tarik harus memiliki cengkeraman (grip) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (highly stiff).

Kuatan tarik merupakan sifat mekanik yang penting terutama untuk perencanaan konstruksi maupun perencanaan logam. Uji tarik akan menghasilkan profil tarikan yang lengkap berupa kurva seperti pada gambar dibawah ini. Kurva ini menunjukkan

Dalam sebuah penelitian yang menjadi fokus perhatian adalah kemampuan maksimum bahan tersebut dalam menahan beban. Kemampuan ini umumnya disebut "*Ultimate Tensile Strength*" disingkat dengan UTS, dalam bahasa Indonesia disebut tegangan tarik maksimum. Untuk hampir semua logam, pada tahap awal dari uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah linier atau *linear zone*. Di daerah ini, kurva pertambahan panjang berlawanan dengan beban mengikuti aturan *Hooke* yaitu *rasio tegangan (stress) dan regangan (strain) adalah konstan*.

*Stress* adalah beban dibagi dengan luas penampang daribahan dan *strain* adalah pertambahan panjang dibagi panjang awal bahan. Untuk hasil dari *elongation* dapat dilihat dari rumus berikut.

### 1) Tegangan

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dimana :

$\sigma$	= Tegangan ( N/mm <sup>2</sup> )
F	= Gaya (N)
A	= Luas (mm)

## 2) Regangan

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \%$$

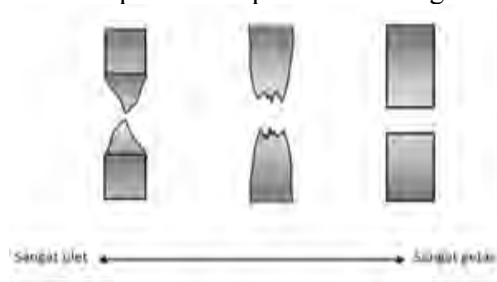
Dimana

$\varepsilon$  = Regangan ( % )

$\Delta L$  = Perpanjangan ( mm )

$L_0$  = Panjang awal ( mm )

Dilihat dari spesimen yang putus saat pengujian tarik bentuk patahan dari spesimen dapat dilihat sebagai berikut.



**Gambar 2.18** Bentuk Patahan

### 2.8.1 Sifat mekanik di Daerah Plastik

Kekuatan tarik (Tensile strength) menunjukkan kemampuan untuk menerima beban tanpa menjadi rusak atau putus. Ini dinyatakan tegangan maksimum sebelum putus. Kekuatan tarik (Ultimate tensile strength) :

$$UTS = \sigma_u = F_{max} / A_0$$

UTS atau Kekuatan tarik yang dianggap sebagai data terpenting yang diperoleh dari hasil pengujian tarik, karena biasanya perhitungan – perhitungan kekuatan dihitung atas dasar kekuatan ini (sekarang ada kecenderungan untuk mendasarkan perhitungan kekuatan pada dasar yang lebih rasional yaitu yield point/yield strength). Pada baja, kekuatan

tarik akan naik seiring dengan naiknya kadar karbon dan paduan.

Keuletan (ductility) menggambarkan kemampuan untuk berdeformasi secara plastis tanpa menjadi patah. Dapat diukur dengan besarnya tegangan plastik yang terjadi setelah batang uji putus. Keuletan biasanya dinyatakan dengan presentase perpanjangan (percentage elongation).

$$D_o = (L - L_o) / L_o \times 100 \%$$

$L$  = panjang setelah putus

Bila keuletan dinyatakan dengan persentase perpanjangan maka panjang gauge length mula-mula juga harus disebutkan, jadi misalnya dituliskan “persentase perpanjangan 25 % pada gauge length 50 mm”.

Keuletan juga dapat dinyatakan dengan persentase pengurangan luas penampang (percentage reduction in area) :

$$D_h = (A_o - A_f) / A_o \times 100 \%$$

$A_f$  = luas penampang batang uji pada patahan.

Pada baja, dan juga pada logam-logam lain, keuletan banyak ditentukan oleh struktur mikro, jadi juga ditentukan oleh komposisi kimia dari paduan, lakupanas dan tingkat deformasi dingin yang dialami. Pada baja, kenaikan kadar karbon akan menaikkan kekuatan dan kekerasan tetapi keuletan makin rendah.

Keuletan merupakan salah satu sifat mekanik yang amat penting karena :

- 1) Keuletan menunjukkan seberapa banyak suatu logam dapat dideformasi tanpa menjadi patah atau retak, hal ini penting dalam menentukan besarnya deformasi yang



akan dilakukan pada proses rolling, extruding, forging, drawing, dll

- 2) Keretakan pada bahan yang memiliki keuletan cukup tinggi biasanya didahului oleh adanya proses deformasi, sehingga bila dijumpai adanya deformasi maka akan dapat diambil tindakan untuk mencegah terjadinya kerusakan lebih lanjut

Ketangguhan (*toughness*) menyatakan kemampuan menyerap energi tanpa mengakibatkan patah, dapat diukur dengan besarnya energi yang diperlukan untuk mematahkan. Ketangguhan dinyatakan dengan modulus ketangguhan (*modulus of toughness* atau *toughness index number*) yang dapat didefinisikan sebagai banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan satu satuan volume suatu bahan. Secara grafik, ini dapat diukur dengan luasan yang berada di bawah kurva tegangan – regangan dari hasil pengujian tarik.

Ada beberapa pendekatan matematik yang dapat digunakan mengukur/menghitung besarnya ketangguhan  $U_T$ , yaitu :

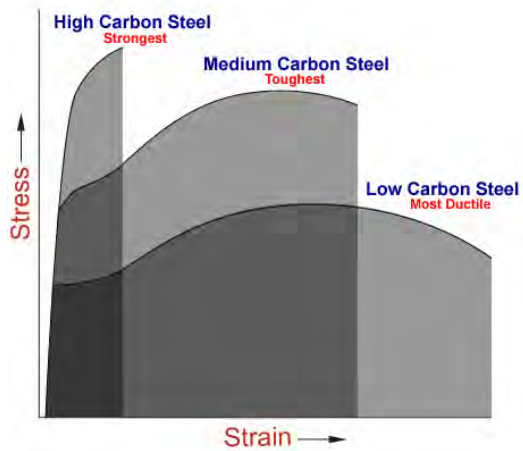
- Untuk bahan yang ulet (*ductile*) :

$$U_T = \sigma_u \cdot \epsilon_f$$

Dimana :

$U_T$  = ketangguhan

$\epsilon_f$  = regangan total pada saat putus



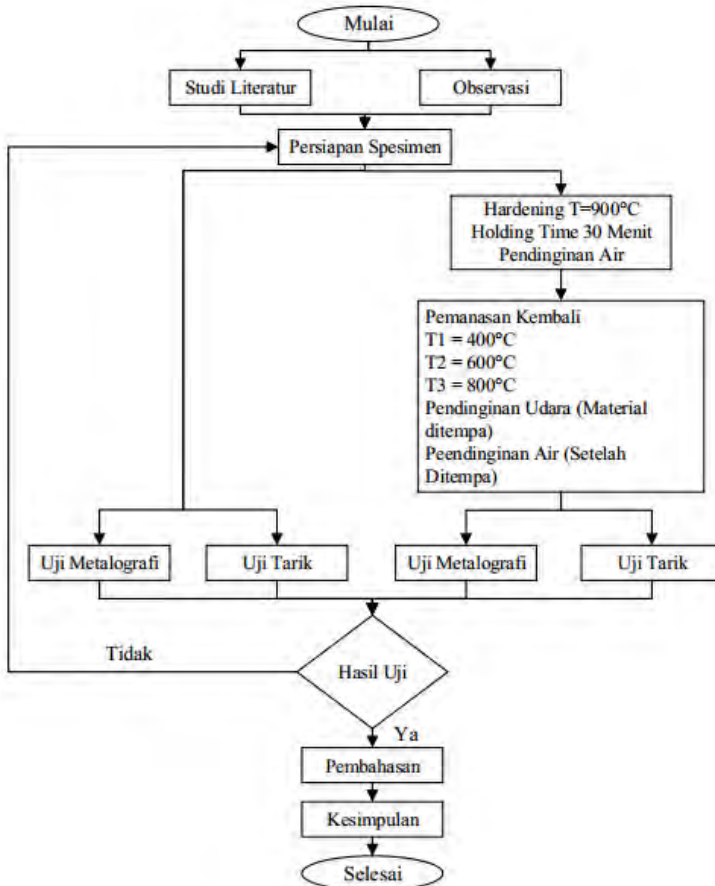
**Gambar 2.19** Diagram Tegangan Regangan Nominal Material Ulet

(halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Flowchart Penelitian

Pengerjaan dalam pembuatan tugas akhir ini sesuai dengan flowchart, bisa dilihat pada gambar 3.1 atau diagram dibawah ini.



**Gambar 3.1** Diagram Alir

### 3.2 Bahan

Material yang digunakan dalam pengujian ini adalah baja SS400 (*Structural steel 400*). Baja SS400 ini digunakan sebagai *underframe* kereta yang dibuat oleh PT. INKA.

**Tabel 3.1** komposisi kimia baja SS400

Unsur (%)					
Fe	C	Si	Mn	Ni	Cr
98,3	0,16	0,25	1,45	0,03	0,02

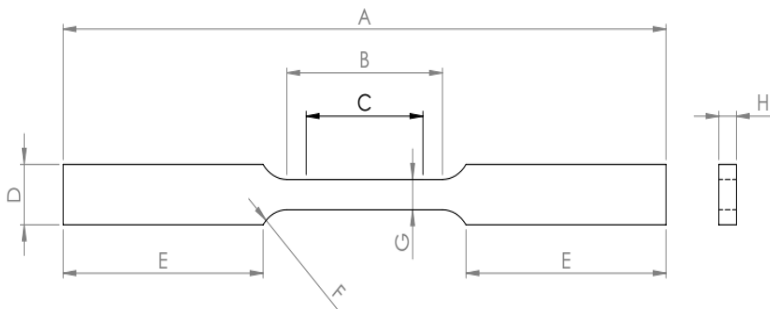
**Tabel 3.2** Kekuatan mekanik material SS400

Tensile Strenth	Yield strength	Elongation
474 $N/mm^2$	355 $N/mm^2$	26%

### 3.3 Benda Uji

#### 3.3.1 Benda Uji Tarik

Benda uji berbentuk sesuai standart dimensi uji tarik JIS Z 2201



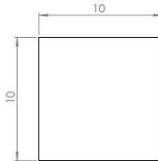
**Gambar 3.2** Dimensi Benda uji tarik

**Tabel 3.3** Standart Dimensi Uji Tarik

Keterangan	
A- <i>Over all length</i>	310 mm
B- <i>Length of reduced section</i>	80 mm
C- <i>Gage length</i>	60 mm
D- <i>Width of grip section</i>	25 mm
E- <i>Length of grip section</i>	102,82 mm
F- <i>Radius of fillet</i>	15 mm
G- <i>Width</i>	12,50 mm
H- <i>Thickness</i>	9 mm

### 3.3.2 Benda Uji Metallografi

Benda uji dipotong dengan dimensi yang sudah ditentukan, yaitu 10 mm x 10 mm serta tebal 9 mm. sesuai dengan gambar 3.3



**Gambar 3.3** Benda uji metallografi

Pengujian ini didasarkan pada ASTM E3 – 95. Langkah – langkah pengujian ini adalah :

1. Spesimen di grinding menggunakan kertas gosok dengan grid 120, 180, 240, 320, 360, 400, 600, 800,1000,1200,1500 dan 2000 pada mesin *grinding* yang dialiri air pada mesin *grinding – polishing*.<sup>2</sup>
2. Spesimen dipoles menggunakan kain bludru dan autosol hingga diperoleh spesimen yang bebas dari goresan.
3. Spesimen di *etsa* menggunakan campuran 2 % HNO<sub>3</sub> dan 98% *alkohol* selama beberapa detik lalu spesimen

- segera dicuci dengan menggunakan *alkohol* untuk diamati fasa yang terjadi.
4. Spesimen diamati struktur mikro dan fase yang terjadi menggunakan mikroskop optis.

### **3.4 Prosedur Laku Panas**

#### **3.4.1 *Hardening***

Perlakuan panas *hardening* ini digunakan untuk simulasi mendapatkan tegangan sisa pada benda uji karena pada saat pembuatan underframe baja SS400 mendapatkan tegangan sisa dari proses pengelasan yang menyebabkan terjadi deformasi. Benda uji yang diberi perlakuan *hardening* ini dipanaskan sampai suhu 900°C dan ditahan pada temperatur tersebut selama 30 menit. Selanjutnya benda uji didinginkan dengan menggunakan air.

#### **3.4.2 Perlakuan Panas Kembalian**

*Laku Panas* ini digunakan untuk memanaskan benda kerja yang nantinya akan *diforging*. Pada laku panas ini benda uji dipanaskan dengan tiga variasi suhu yaitu 400°C, 600°C, 800°C dengan setiap suhu memiliki waktu penahanan selama 20 menit. Selanjutnya benda kerja *diforging* sebanyak 20 kali. Setelah selesai proses *forging* benda kerja dimasukkan kedalam air.

### **3.5 Pengujian**

#### **3.5.1 Uji Tarik**

Proses Uji Tarik :

- 1) Menyiapkan Spesimen
  - 1) Ambil spesimen dan jepit pada ragum
  - 2) Bersihkan bekas-bekas machining dengan kikir
  - 3) Lakukan langkah diatas untuk seluruh spesimen
- 2) Pengukuran dimensi
  - 1) Ambil spesimen dan ukur dimensinya
  - 2) Catat dan beri kode untuk masing-masing spesimen

- 3) Lakukan langkah diatas untuk seluruh spesimen
- 3) Pengujian pada spesimen
  - 1) Mencatat data mesin uji tarik.
  - 2) Pasang benda kerja pada mesin uji tarik.
  - 3) Lakukan pengujian dengan menarik benda kerja.
  - 4) Setelah patah, spesimen dilepas dari penjepit
  - 5) Selanjutnya kedua bagian spesimen yang patah digabungkan, kemudian panjang spesimen diukur dan catat pertambahan panjang dari spesimen.
  - 6) Ukur dan catat diameter spesimen yang mengalami necking.



**Gambar 3.4** alat uji tarik

### 3.5.2 Uji metalografi

Pengamatan metalografi menggunakan peralatan sebagai berikut :

1. Mesin grinding dan polishing
2. Kertas gosok grid 100 - 2000
3. Kain jins
4. Digunakan etsa *nital* 5% dan *alkhohol* 95%
5. Mikroskop optik





**Gambar 3.5** Mikroskop optik

**1. Menghitung Presentase Tiap Microstructur**

Berdasarkan pada ASTM E562 yang merupakan standar pengujian untuk menentukan fraksi volume dengan sistem perhitungan manual (point counting). Untuk Menggunakan ASTM E562 maka sebelumnya harus dilakukan foto mikro pada benda uji.

**2. Menghitung Rata-rata Besar Butir**

Berdasarkan pada ASTM E112 menggunakan metode *intercept (heyne)*.

**3.6 Langkah Percobaan**

- 1) Benda uji baja karbon SS400 dimasukkan kedalam oven untuk di *hardening*.
- 2) Dapur pemanas dipanaskan dengan temperatur 900°C.
- 3) Setelah mencapai temperatur 900°C dilakukan penahanan selama 30 menit.
- 4) Benda uji dikeluarkan dari pemanas dan didinginkan dengan media pendingin air.
- 5) Setelah dingin benda uji kembali dipanaskan dengan suhu 400°C untuk benda uji yang pertama, 600°C untuk benda uji yang kedua dan 800°C untuk benda uji yang ketiga.
- 6) Selanjutnya dilakukan waktu penahanan selama 20 menit.

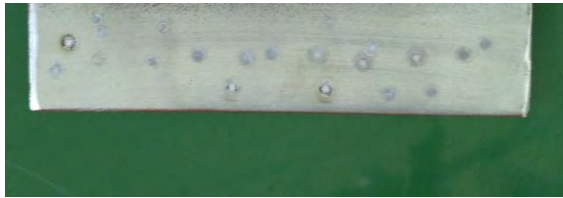
- 7) Benda uji selanjutnya dikeluarkan dari oven untuk proses *forging*.
- 8) Selanjutnya benda uji *diforging* / ditempa sebanyak 20 kali.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Uji Komposisi

Pengujian komposisi kimia ini dilakukan di PT. INKA. Dengan menggunakan pengujian OES (Optical Emission Spectrometry). Dari hasil pengujian tersebut dapat diketahui komposisi kimia yang terdapat pada spesimen uji, pada tabel berikut.



**Gambar 4.1** Material uji komposisi

**Tabel 4.1** Hasil uji komposisi kimia

Unsur (%)					
Fe	C	Si	Mn	Ni	Cr
98,3	0,165	0,133	1,16	0,022	0,0169

**Tabel 4.2** Komposisi kimia SS400

Unsur (%)					
Fe	C	Si	Mn	Ni	Cr
98,3	0,16	0,25	1,45	0,03	0,02

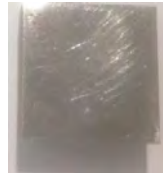
Setelah didapat data komposisi atau unsur yang terkandung didalam spesimen maka dapat dibuat suatu diagram batang pada jumlah unsur yang terkandung dalam tiap spesimen.

Berdasarkan data dari komposisi kimia tersebut maka dapat dicari jenis logam standart.

## 4.2 Material Awal

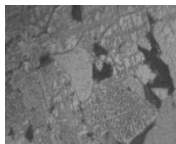
### 4.2.1 Uji Metalografi Material Awal

Pada pengujian metalografi kali ini dilakukan untuk mengetahui struktur material SS400 yang belum mendapat perlakuan panas. Dengan pengambilan foto struktur mikro pada perbesaran 100x.



**Gambar 4.2** Material uji metalografi

**Tabel 4.3** Hasil uji mikro struktur material awal

Spesimen	Hasil Metalografi	Fasa
SS400		Pearlite 37% Ferrit 63%

Dari hasil pengujian metalografi material awal diatas, berdasarkan ASTM E562 menunjukan bahwa persentase ferrit tertinggi pada spesimen SS400 sebesar 56% dan pearlite 44%. Ferrit berwarna putih terang berbentuk butir-butir kristal padat dan pearlite berwarna kehitaman berbentuk pipih.

Dari hasil pengujian metalografi, berdasarkan ASTM E112 maka didapat besar butir (*Grain Size*) yang terbentuk sebagai berikut:

**Tabel 4.4** Nilai Besar Butir Struktur Mikro Kondisi Awal

Benda Uji	Grain Size Number (G)	Average Diameter (mm)
Kondisi Awal	9.5	0.0133

Dari hasil perhitungan grain size memiliki nilai (G) sebesar 9.5 dengan besar butiran sebesar 0.0133mm hal ini terjadi karena material awal tidak mengalami perlakuan panas dan mempunyai keuletan yang tinggi

#### 4.2.2 Uji Tarik Material Awal

Material awal yang belum mendapat perlakuan panas dilakukan uji tarik untuk mengetahui nilai dari kekuatan tarik maksimum (UTS) dan *yield strength*.



**Gambar 4.3** Sampel material uji tarik kondisi awal

Hasil pengujian tarik dari material awal dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 4.5** Data rata-rata hasil uji tarik material awal

<i>Yield Strength</i>	364,44 Mpa
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	465,95 Mpa
<i>Elongation</i>	29,8%
Modulus ketangguhan	138,73

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa material awal merupakan material yang ulet mempunyai UTS, *yield strength* yang rendah namun mempunyai elongation dan modulus ketangguhan yang tinggi karena tidak mengalami perlakuan panas. Material ini mempunyai fasa ferrite dan pearlite dengan ferrite yang lebih dominan.

### 4.3 Hardening

Pada penelitian kali ini menggunakan logam SS400 yang digunakan dalam pembuatan sasis kereta. Dalam pembuatan sasis material tersebut mendapat tegangan sisa. Maka dari itu dilakukan pengerasan untuk mendapat tegangan sisa melalui proses hardening pada suhu 900°C dengan waktu penahanan 30 menit kemudian didinginkan dengan cepat menggunakan air.

**Tabel 4.6** Data proses *hardening*

Data Hardening pada spesimen SS400	
Tempat	Oven/Furnace
Temperatur Ruang	32°C
Temperatur Pemanasan	900°C
Waktu Penahanan	30 Menit
Media Pendingin	Air

#### 4.3.1 Uji Metalografi *Hardening*

Pada pengujian metalografi ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro pada spesimen yang dapat mempengaruhi sifat mekanik material. Dengan pengambilan struktur mikro pada satu titik dengan perbesaran 100x.



**Gambar 4.4** Material Hardening uji metalografi

Dari hasil pengujian struktur mikro tersebut terlihat bahwa persentase martensit pada spesimen SS400 sebesar 59% dan Pearlite 37% Ferrite 4%. Hal ini disebabkan karena proses Hardening dilakukan pendinginan secara cepat.

**Tabel 4.7** Hasil uji struktur mikro *Hardening*

Spesimen	Hasil Metalografi Hardening	Fasa
SS400		Martensit 59% Pearlite 37% Ferrite 4%

Dari hasil pangujian metalografi diatas, berdasarkan ASTM E112 maka didapat nilai besar butir (Grain Size) yang terbentuk pada tabel berikut :

**Tabel 4.8** Nilai Besar Butir Struktur Mikro Hardening

Benda Uji	Grain Size Number (G)	Average Diameter (mm)
Hardening	11	0.0079

Dilihat dari perhitungan grain size material hardening mempunyai G sebesar 11 dengan luas butiran 0.0079 hal ini dikarena perlakuan panas dengan temperatur 900°C kemudian dilakukan pendinginan cepat menggunakan air menyebabkan material tersebut mendapat tegangan sisa. Struktur mikro yang terdapat dalam material tersebut martensite, pearlite, dan ferrite dengan martensite lebih dominan.

#### **4.3.2 Uji Tarik Material *Hardening***

Material yang telah di hardening dilakukan uji tarik untuk mengetahui sifat mekanik yaitu kekuatan yield, kekuatan tarik maksimum dan elongasi dari material SS400 seperti.





**Gambar 4.5** Sampel material uji tarik yang di hardening

Dari pengujian tarik material hardening tersebut didapat data sebagai berikut.

**Tabel 4.9** Data hasil rata-rata uji tarik material Hardening

<i>Yield Strength</i>	555.11 Mpa
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	1022.22 Mpa
<i>Elongation</i>	9.18%
Modulus ketangguhan	93.46 Mpa

Dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat bahwa material hardening mempunyai nilai keuletan yang rendah, hal ini dapat dilihat dari nilai yield strength dan UTS yang tinggi berbeda dengan elongasi dan ketangguhan yang rendah. Kondisi ini terjadi karena material ini perlakuan panas dengan temperatur 900°C kemudian dilakukan pendinginan cepat menggunakan air menyebabkan material tersebut mendapat tegangan sisa. Struktur mikro yang terdapat dalam material tersebut martensite pearlite dan ferrite dengan martensite lebih dominan.

#### **4.4 Perlakuan Panas Kembali**

Proses perlakuan panas ini dilakukan untuk memanaskan benda sebelum di forging. Terdapat 3 variasi suhu yang digunakan dalam memanaskan benda kerja yaitu 400°C, 600°C, dan 800°C. Tujuan dari adanya 3 variasi suhu ini adalah agar kita dapat mengetahui temperatur mana yang terbaik untuk digunakan untuk pemanasan sebelum benda uji di *foraging*. Untuk proses tempa diberikan dengan tujuan untuk mengembalikan bentuk benda kerja

yang mengalami deformasi ketika proses hardening. Serta pengaruh dari pengerjaan tempa dan tanpa tempa terhadap nilai struktur mikro dan nilai uji tarik.

**Tabel 4.10** Data proses laku panas kembali SS400 suhu 400°C

Spesimen SS400	
Tempat	Oven / Furnace
Temperatur Ruang	32°C
Temperatur Penahanan	400°C
Waktu Penahanan	20 menit didalam oven 1 menit diudara
Media	1 menit diudara material ditempa 1 menit di udara material tidak ditempa

**Tabel 4.11** Data proses laku panas kembali SS400 suhu 600°C

Spesimen SS400	
Tempat	Oven / Furnace
Temperatur Ruang	32°C
Temperatur Penahanan	600°C
Waktu Penahanan	20 menit didalam oven 1 menit diudara
Media	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 menit diudara material ditempa</li> <li>• 1 menit di udara material tidak ditempa</li> <li>• Air</li> </ul>

**Tabel 4.12** Data proses laku panas kembali SS400 suhu 800°C

Spesimen SS400	
Tempat	Oven / Furnace
Temperatur Ruang	32°C
Temperatur Penahanan	800°C
Waktu Penahanan	20 menit didalam oven 1 menit diudara
Media	<ul style="list-style-type: none"><li>• 1 menit diudara material ditempa</li><li>• 1 menit di udara material tidak ditempa</li><li>• Air</li></ul>



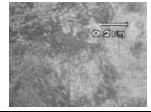
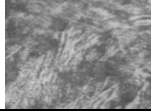
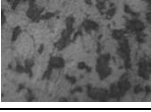
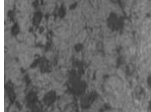


**Gambar 4.6** Sampel spesimen uji tarik perlakuan panas kembali

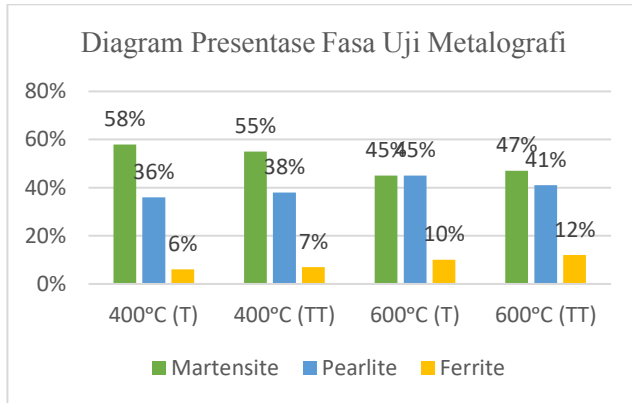
#### 4.4.1 Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Kembali Terhadap Struktur Mikro

Setelah dilakukan proses laku panas tempering tempa dan tanpa tempa, untuk mengobservasi dilakukan pengamatan struktur mikro untuk mengetahui fase penyusunan dan *grain size* dari setiap spesimen uji. Dengan pengambilan foto menggunakan mikroskop optis struktur mikro pada satu titik dengan perbesaran 100x dengan lensa objektif.

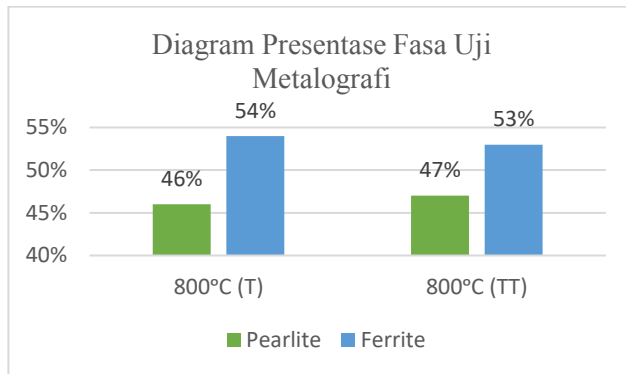
**Tabel 4.13** Data hasil uji metalografi

Suhu	Perlakuan	Gambar	Fasa%
400°C	Tempa (T)		Martensite 58% Pearlite 36% Ferrite 6%
	Tanpa Tempa (TT)		Martensite 55% Pearlita 38% Ferrite 7%
600°C	Tempa (T)		Martensite 45% Pearlite 45% Ferrite 10%
	Tanpa Tempa (TT)		Martensite 47% Pearlite 41% Ferrite 12%
800°C	Tempa (T)		Pearlite 46% Ferrit 54%
	Tanpa Tempa (TT)		Pearlite 47% Ferrit 53%

Dari data pengujian metalografi pada tabel diatas maka akan diperoleh diagram sebagai berikut.



**Gambar 4.7** Diagram presengtase fasa uji metalografi suhu 400°C dan 600°C



**Gambar 4.8** Diagram Presentase Fasa Uji Metalografi suhu 800°C

Dari diagram diatas, berdasarkan ASTM E562 maka didapat jumlah fasa yang terbentuk pada benda uji yang diberi laku panas hardening pada temperatur 900°C

dan holding time 30 menit dengan media pendingin air. Dilihat dari hasil struktur mikro hardening mempunyai presentase martensit 59%, pearlite 37%, ferrite 4%. Setelah perlakuan panas hardening dilakukan Pemanasan ulang pada temperatur 400°C, 600°C, 900°C, ditunjukkan pada diagram diatas pada suhu 400°C material yang mendapat tempa mempunyai presentase martensit 58% serta pearlite 36% dan ferrite 6% sedangkan pada material 600°C yang mendapat perlakuan tempa mempunyai presentase martensit 45% serta pearlite 45% dan ferrite 10%.

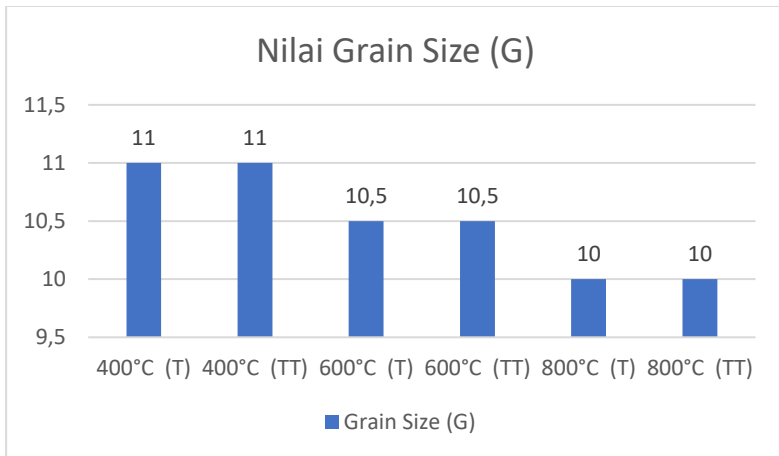
Berbeda dengan material yang ditempering pada temperatur 800°C mendapat perlakuan tempa mempunyai struktur mikro yang sangat berbeda dibandingkan dengan material yang ditempering pada suhu 400°C dan 600°C mendapat perlakuan tempa. Presentase struktur mikro yang terdapat pada material temperatur 800°C ialah ferrite 54% dan pearlite 46%, hal ini dikarenakan pemanasan pada suhu 800°C yang menyebabkan semua struktur mikro berubah menjadi fase austenit. Secara keseluruhan dari diagram diatas menunjukan bahwa semakin tinggi temperatur selama dibawah temperatur austenite akan memperkecil kadar martensite dan menaikkan presentase pearlite dan ferrite. Setelah memasuki suhu austenite akan menyebabkan struktur mikro mengalami austenitisasi kemudian mengalami pendinginan udara selama 1 menit menyebabkan perubahan struktur mikro menjadi ferrite dan pearlite.

Jika dibandingkan antara presentase fase antara material yang ditempa dan tidak ditempa mempunyai persamaan yang sama.

Dari hasil pengujian metalografi diatas, berdasarkan ASTM E112 maka didapat nilai besar butir (Grain Size) yang terbentuk pada tabel berikut :

**Tabel 4.14** Nilai Besar Butir Struktur Mikro Material Tempering

Benda Uji	Perlakuan	Grain Size Number (G)	Average Diameter (mm)
400°C	Tanpa	11	0.0079
	Tempa	11	0.0079
600°C	Tanpa	10.5	0.0094
	Tempa	10.5	0.0094
800°C	Tanpa	10	0.0112
	Tempa	10	0.0112



**Gambar 4.9** Diagram nilai grain size (G) metalografi

Dari data nilai besar butir struktur mikro material tempering diatas dapat dilihat bahwa adanya penurunan nomor besar butir mulai dari suhu 400°C yang mempunyai nomor besar butir paling tinggi sebesar 11, kemudian diikuti dengan suhu 600°C yang mempunyai nomor besar butir 10.5, dan yang paling rendah didapat oleh suhu 800°C dengan nomor besar butir 10.

Hal ini dikaitkan dengan temperatur pemanasan yang berbeda. Dengan meningkatnya temperatur

tempering pada material membuat nomor besar butir semakin kecil hal tersebut dapat dilihat pada diagram diatas. Semakin kecil nomor besar butir menyebabkan ukuran besar butir semakin besar begitu pula sebaliknya, hal ini dapat dilihat dalam tabel 4.14 sesuai dengan ASTM E112.

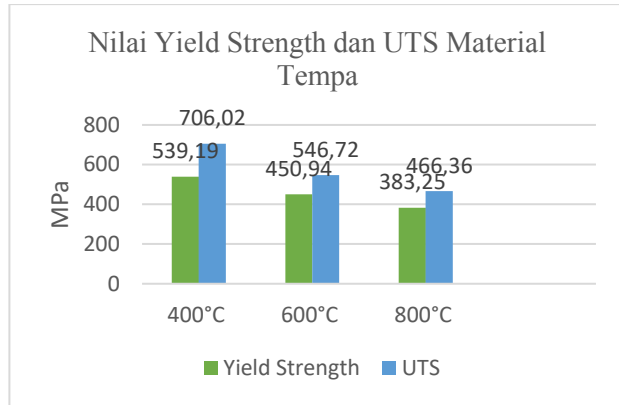
#### **4.4.1 Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Kembali Terhadap Kekuatan Tarik**

Uji tarik pada material tempering tempa dan tempering tanpa tempa ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik dan kekuatan luluh dari material, yang nantinya dapat digunakan untuk memilih perlakuan panas yang akan dilakukan sehingga sifat material sesuai dengan kebutuhan. Dari hasil pengujian tarik didapat data sebagai berikut :

**Tabel 4.15** Data rata-rata hasil uji tarik material tempering tempa

Suhu	YS (Mpa)	UTS (MPa)	Do (%)	Ut (Mpa)	Ket
400°C	566,61	706,02	18,9%	133,35	Tempa
600°C	450,94	546,72	26%	142,60	Tempa
800°C	383,25	466,36	31,4%	146,31	Tempa





**Gambar 4.10** Diagram nilai yield strength dan UTS material tempa.

Dari diagram dan tabel diatas menunjukan bahwa semakin tinggi suhu pemanasan ketika tempering maka yield strength semakin menurun. Pada temperatur pemanasan 400°C rata-rata yield strength dari benda uji adalah 566,61 MPa dan memiliki ultimate tensile strength (UTS) sebesar 706,02 MPa. Pada temperatur 600°C rata-rata yield strength dari benda uji adalah 450,94 MPa memiliki ultimate tensile strength (UTS) sebesar 546,72 MPa. Dilanjutkan pada temperatur 800°C yield strength dan ultimate tensile strength (UTS) terus menurun yaitu sebesar 383,25 MPa dan 466,36 MPa. Yield strength dan ultimate tensile strength temperatur 400°C menunjukan data yang paling tinggi kemudian dilanjutkan dengan temperatur 600°C memiliki nilai yield strength dan ultimate tensile strength lebih kecil dari suhu 400°C dan yang nilai paling kecil dimiliki oleh suhu 800°C.

Hal ini disebabkan karena temperatur pemanasan kembali pada suhu 800°C, temperaturnya sudah mencapai temperatur austenit. Pada saat mendapat perlakuan forging benda uji tersebut mengalami pendinginan lambat

menggunakan udara. Sehingga membuat benda uji tersebut ulet serta berubahnya struktur mikro martensite, pearlite dan ferrite menjadi ferrite dan pearlite.

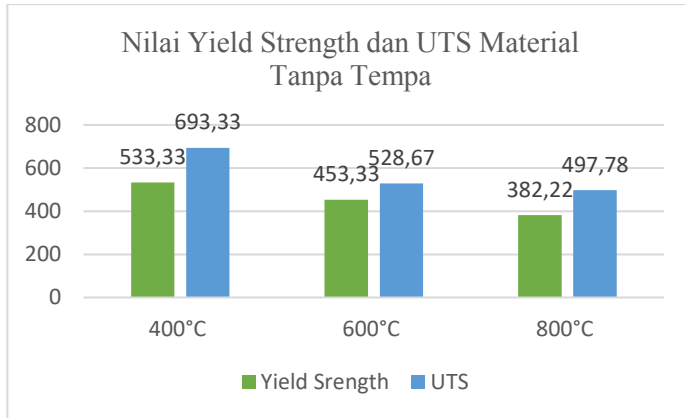
Sedangkan pada temperatur 400°C dan 600°C proses pemanasannya belum mencapai suhu austenite sehingga membuat struktur mikro dari material tersebut yang terdapat martensite, pearlite dan ferrite belum berubah secara signifikan, sehingga membuat benda uji ini memiliki nilai yield strength dan tensile strength lebih besar.

**Tabel 4.16** Data rata-rata hasil uji tarik material Pemanasan Kembali tanpa tempa

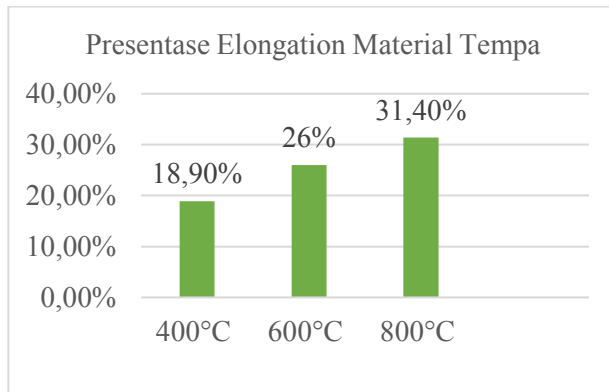
Suhu	YS (Mpa)	UTS (MPa)	Do (%)	Ut (Mpa)	Ket
400°C	533,33	693,33	18,27%	126,69	Tanpa Tempa
600°C	453,33	528,67	25,20%	133,22	Tanpa Tempa
800°C	382,22	497,78	30,40%	151,31	Tanpa Tempa

Keterangan TT= tanpa tempa

Dari gambar diagram nilai yield strength dan UTS material tanpa tempa menunjukkan hasil yang sama dengan material tempa. Semakin tinggi temperatur membuat material semakin ulet karena material tanpa tempa mendapat perlakuan pendinginan yang sama dengan material tempa yaitu menggunakan pendinginan udara menyebabkan kadar karbon berhomogen membuat keuletan semakin naik sesuai dengan temperatur pemanasan kembali yang dipakai.



**Gambar 4.11** Diagram yield strength dan UTS material tanpa tempa

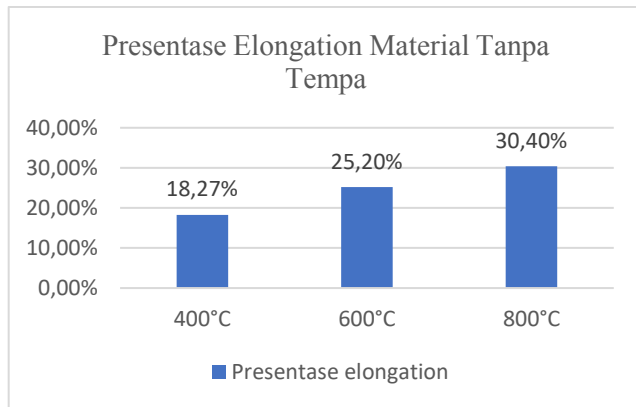


**Gambar 4.12** Diagram presentase elongation material tempa

Pada diagram diatas nilai keuletan dari hasil uji tarik menunjukan bahwa pada suhu 400°C mempunyai nilai keuletan sebesar 18,90%, pada suhu 600°C mempunyai nilai keuletan sebesar 26 %, dan pada suhu 800°C mempunyai nilai keuletan 31,40%.

Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pemanasan kembali membuat nilai keuletan menjadi semakin besar pernyataan tersebut dapat dibuktikan bahwa pada temperatur 400°C menunjukkan nilai terkecil diurutan kedua terdapat temperatur 600°C yang mempunyai nilai keuletan lebih °C nilai keuletan terbesar dari pada suhu 400°C dan suhu 600°C.

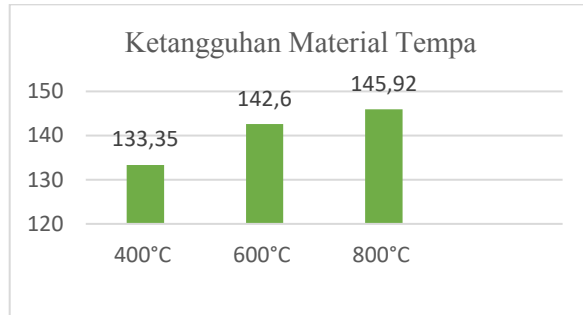
Hal ini disebabkan keuletan semakin naik menyebabkan presentase elongation akan naik pula searah dengan temperatur yang naik karena pada saat ditempa baja mengalami pendinginan yang lambat selama kurang lebih 1 menit setelah itu baru didinginkan dengan air. Dapat dilihat pada struktur mikro yang menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan kembali maka presentase fase martensite akan semakin turun.



**Gambar 4.13** Diagram presentase elongation material tanpa tempa

Dari data diagram diatas dapat lihat bahwa material yang mendapat perlakuan tempa dan tanpa tempa mempunya hasil sama, menunjukan kesamaan kenaikan

presentase elongation dalam setiap temperatur yang digunakan.

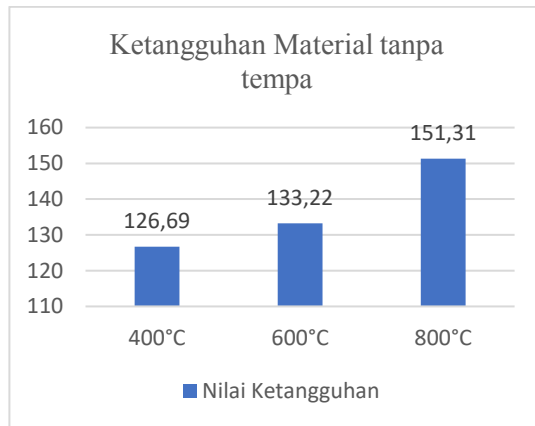


**Gambar 4.14** Diagram ketangguhan material tempa

Dapat dilihat dari diagram batang diatas bahwa pada suhu 400°C menunjukkan mempunyai modulus ketangguhan terkecil bernilai 133,35 Mpa, suhu 600°C mempunyai ketangguhan sebesar 142,6 MPa, dan pada suhu 800°C mendapat modulus ketangguhan terbesar yaitu 145,92 MPa.

Dari data tersebut menunjukkan bahwa ketangguhan akan semakin naik dengan naiknya temperatur yang digunakan. Karena ketangguhan dipengaruhi dengan elongation yang didapat menyebabkan Semakin ulet material maka mempunyai nilai presentase elongation besar dan ketangguhan bernilai besar. semakin tinggi suhu yang digunakan pada saat tempering membuat material semakin ulet karena pada saat material keluar dari oven mendapat perlakuan tempa membuat material tersebut mengalami pendinginan secara lambat diudara yang menyebabkan berubahnya nilai keuletan, pendinginan di udara menyebabkan adanya waktu untuk berhomogen membentuk struktur mikro material yang baru.

Pada saat suhu 400°C dan 600°C struktur mikro material tersebut terdapat martensite, pearlite dan ferrite hanya saja pada saat suhu 600°C terdapat penurunan presentase fase martensite dan naiknya presentase fase pearlite dan ferrite. Pada suhu 800°C karena diatas temperatur austenite dilanjutkan dengan pendinginan lambat membuat fase martensite, ferrite dan Pearlite berubah menjadi ferrite dan pearlite.



**Gambar 4.15** diagram ketangguhan material tanpa tempa

Dapat dilihat dari data nilai ketangguhan diatas menunjukan material yang mendapat perlakuan tempa dan tanpa tempa mempunyai kenaikan yang sama yaitu nilai ketangguhan akan naik berdasarkan dengan temperatur yang digunakan semakin tinggi maka nilai ketangguhan akan naik pula. Karena material tanpa tempa mendapat perlakuan pendinginan sama dengan material tempa yaitu pendinginan lambat menggunakan udara.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil analisa data hasil pengujian metalografi dan tarik mengenai pengaruh reforming dengan tiga variasi suhu terhadap baja SS400, dapat disimpulkan bahwa.

- 1) Hasil pengujian metalografi menunjukkan bahwa benda uji yang dipanaskan kembali dengan temperatur 800°C mempunyai struktur mikro yang hampir sama dengan material kondisi awal sebesar pearlite 46% ferrite 54%. Benda uji menggunakan temperatur tempering 400°C mempunyai struktur mikro jauh berbeda dengan material awal martensite 58% pearlite 36% dan ferrite 6%.
- 2) Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa benda uji yang dipanaskan ulang pada suhu 800°C mempunyai rata-rata kekuatan tarik maksimal dan *yield strength* yang paling mirip dengan material awal sebesar 466,36 MPa dan 383,25 MPa. Hasil pengujian temperatur yang paling jelek digunakan pada suhu 400°C mempunyai kekuatan tarik maksimal dan *yield strength* sebesar 706.02 Mpa dan 539.19 Mpa.
- 3) Dari data pengujian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa suhu yang tepat digunakan untuk reforming adalah suhu 800°C karena mampu mengembalikan sifat mekanik dan struktur mikro baja hampir seperti material awal.

#### **5.2 Saran**

Beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian lebih lanjut:



1. Pada penelitian kali ini pengujian yang dilakukan hanya sebatas mengetahui nilai kekuatan tarik dan struktur mikro dari material, untuk selanjutnya bisa dilakukan dengan pengujian *hardness test* dan *Bending Test*.
2. Pada penelitian ini hanya mengetahui perbedaan antara struktur mikro dan kekuatan tarik pada spesimen, guna menentukan suhu terbaik yang digunakan untuk forging.

## DAFTAR PUSTAKA

Anonymous, *ASTM International Standard Specification for Toolsteel*, United States, 2008

*Teori dan Praktikum Ilmu Bahan* Surabaya: Program Studi D3 Teknik Mesin FTI – ITS.

F Mehl, Robert . *Metal Handbook* 8<sup>th</sup> Edition, 2001

Digges, Thomas G. and Samuel J. Rosenberg, *Heat Treatment and Properties of Iron and Steel*, 1960

Suherman, W. 1998. *Prlakuan Panas* Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Amanto, Hari. 1999. *Ilmu Bahan*. Bumi Aksara, Jakarta  
Anonymous. 2016.

ASTM E3-95. 2008. *Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens*. USA: ASTM International.


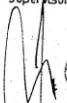

ASTM E112. 2000. *Standard Test Methods for Determining Average Grain Size*. USA: ASTM International.

*ASM Handbook*. 2004. *Metallography and Microstructures*. USA: ASM International.

Callister, William. 2007. *Material Science and Engineering An Introduction*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran 1  
Sertifikat Baja SS 400

 <b>PT. INKA (Persero)</b> Dep. Quality Control		INSPECTION SHEET LEMBAR PEMERIKSAAN		Incoming Inspection	
No. Kontrak : 45-6601					
Vendor : PT. Krakatau Steel					
Surat Jalan : 16.1420/50-21070					
Nama Produk : plate Steel SS 400					
Ukuran : 9 x 1219 x 2438					
Finishing :					
Standart :				JIS, DIN, ASTM, BS	
Chemical Composition (%)				Mechanical properties	
C	Si	Mn	P	S	Hardness
0.060	0.009	0.877	0.012	0.005	TS 461, YS 306, HB, HRC, Shore
HEAT. No		CERTIFICATE. No. / DATE		MANUFACTURED	M. PROPERTIES
K17973		B00007565/MG/PK/IV/16		PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk	OK
DIMENSI :				Pengujian Lain :	
1. 9 x 1230 x 2445 mm					
2. 9 x 1250 x 2446 mm					
3. 9 x 1230 x 2445 mm					
4. 9 x 1250 x 2445 mm					
5. 9 x 1230 x 2446 mm					
KETERANGAN :					
Disetujui Supervisor  (SAHARU I) 27 APR 2016			Diperiksa Inspector  (SUMARADA)		

# PT KRAKATAU STEEL (PERSERO) Tbk.

KRAKATAU STEEL

## MILL CERTIFICATE

PURCHASER : INDUSTRI KEREJA API, PT.  
JL. YOS SUDARSO NO 71  
MADIUN

COMMODITY : PRIME HEAVY PRODUCED HOT ROLLED  
STEEL IN SHEET MILL EDGE

SPECIFICATION : JIS G 3101 SS400

LC. NO. : MS77252075628  
CERTIFICATE NO. : B00007565MCPK0V/18  
DATE : APRIL 05, 2015  
LOT NO. :  
SHIPPING INSTRUCTION :  
SALES ORDER / ITEM : 6000037049 / 0000050

JAT NO.	SLAB NO	COIL AND PACKING NO	TEST- NO	DIMENSION (mm)	QTY (N)	CHEMICAL COMPOSITION x 100 %										TENSILE TEST				BEND TEST	IMPACT TEST	
				T x W x L		C	SI	Mn	P	S	AI	Ceq	YS N/mm²	TS N/mm²	EL %	AVG	°C					
K17473	0200	872218 01	872218	8.00 x 1218 x 2438	19	18.0	0.8	87.7	1.2	0.5	4.3	0.31	308	481	28	GOOD						
K17473	0200	872218 02	872218	8.00 x 1218 x 2438	19	18.0	0.8	87.7	1.2	0.5	4.3	0.31	308	481	28	GOOD						
K17473	0200	872218 03	872218	8.00 x 1218 x 2438	19	18.0	0.8	87.7	1.2	0.5	4.3	0.31	308	481	28	GOOD						

Page : 1

RS/SH/023/ ISSUE NO. 03



Lampiran 2  
Sertifikat Baja SS 400

Lampiran 3  
Tabel grain size

STD-ASTM E112-ENGL 1996 ■ 0759510 0668768 986 ■



E 112

TABLE 4 Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains

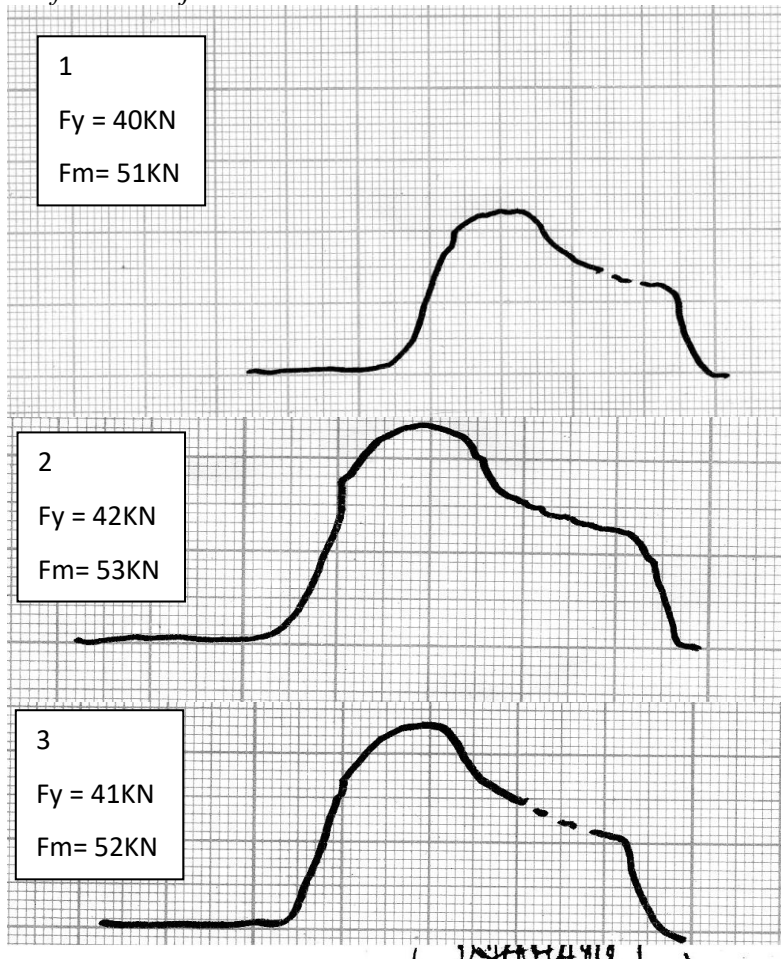
Grain Size No. G	$\bar{N}_A$ Grains/Unit Area		$\bar{A}$ Average Grain Area		$\bar{D}$ Average Diameter		$\bar{t}$ Mean Intercept		$\bar{L}_t$
	No./in. <sup>2</sup> at 100X	No./mm <sup>2</sup> at 1X	mm <sup>2</sup>	μm <sup>2</sup>	mm	μm	mm	μm	
00	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4825	482.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2891	289.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2293	229.3	4.42
1.5	1.41	21.82	0.0458	45820	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.88	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.83	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.0
10.5	724.08	11223.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	5.9	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126876.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

makes the fracture grain sizes interchangeable with the austenitic grain sizes determined microscopically. The sizes observed microscopically shall be considered the primary standard, since they can be determined with measuring instruments.

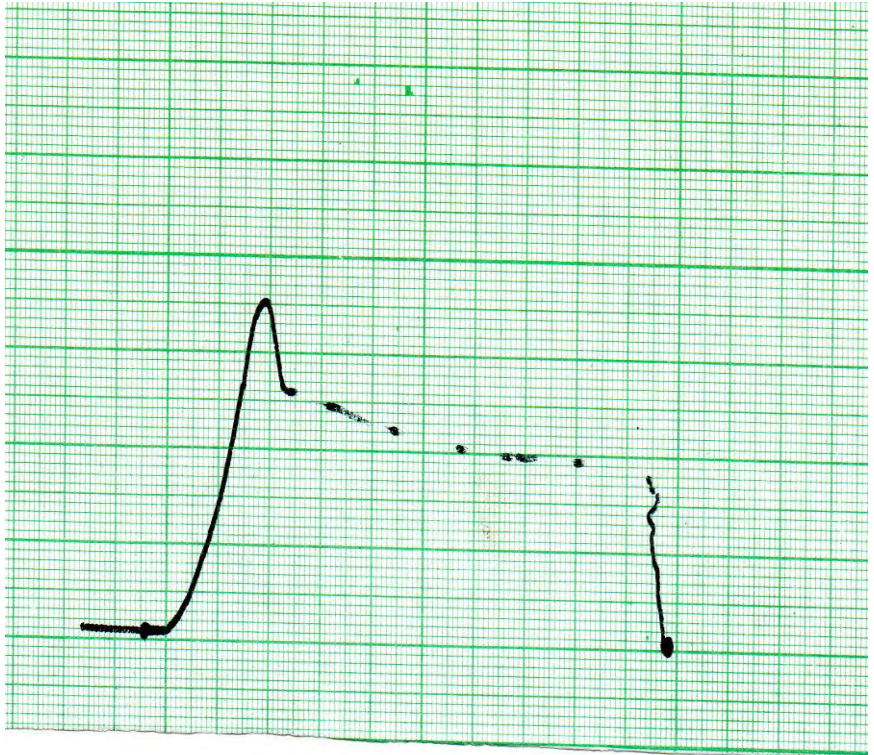
TABLE 5 Relationship Between Magnification Used and Jeffries' Multiplier,  $t$ , for an Area of 5000 mm<sup>2</sup> (a Circle of 79.9-mm Diameter) ( $f = 0.0002 M^2$ )

Magnification Used, $M$	Jeffries' Multiplier, $t$ , to Obtain Grains/mm <sup>2</sup>
1	0.0002
10	0.02

*Lampiran 4*  
*Grafik Hasil Uji Tarik Material Awal*



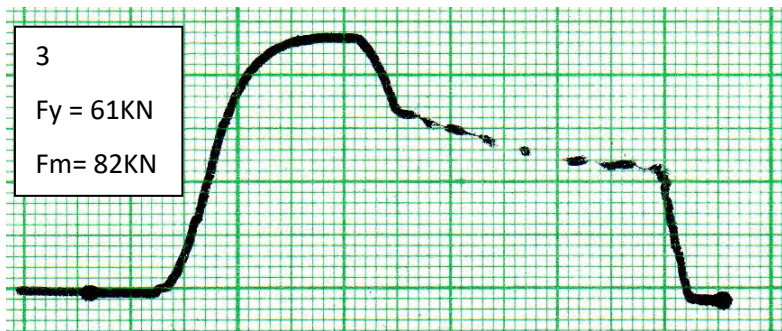
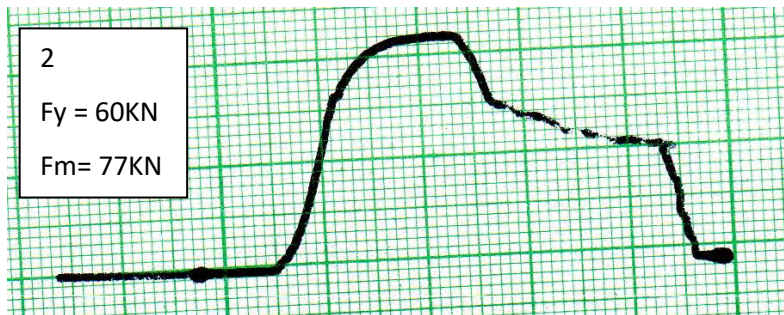
*Lampiran 5*  
*Grafik Hasil Uji Tarik Material Hardening*





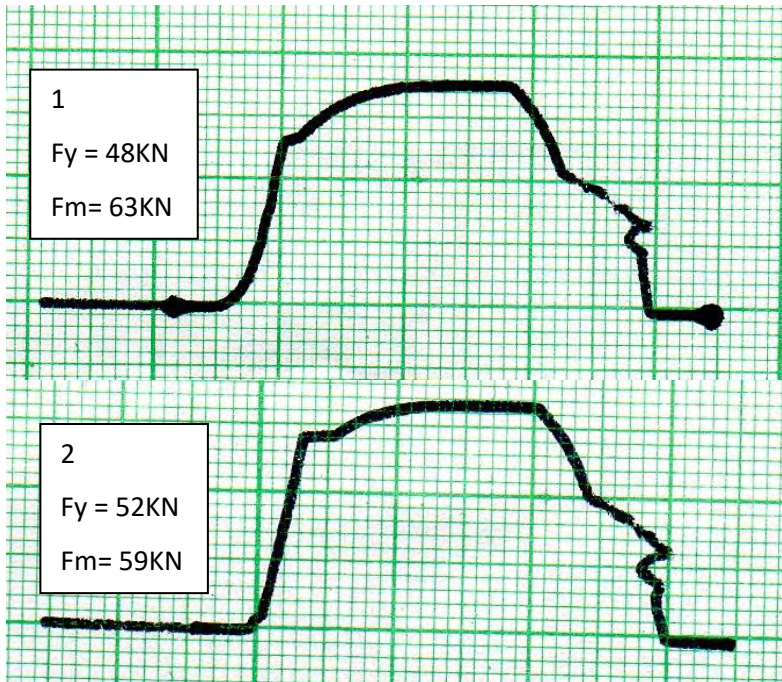
*Lampiran 6*

*Grafik Hasil Uji Tarik Material Pemanasan ulang 400°C*

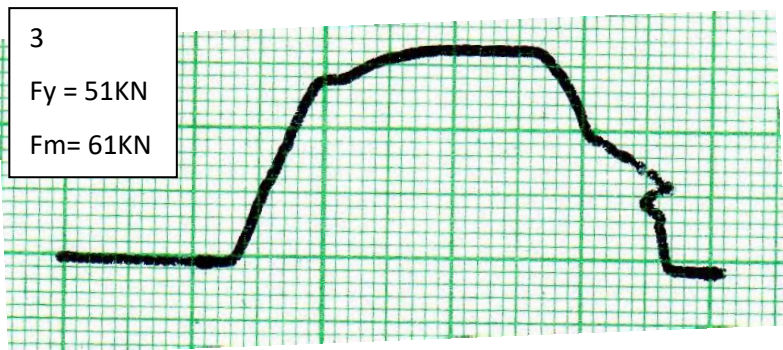


### Lampiran 7

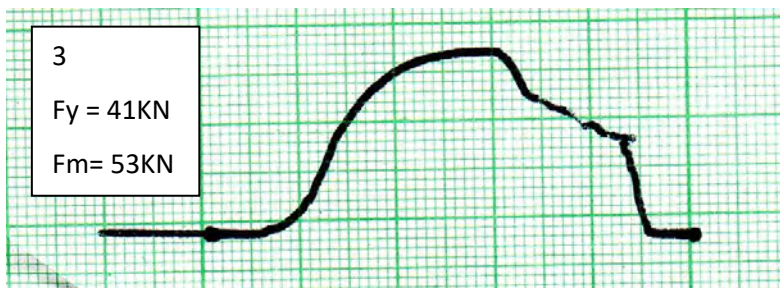
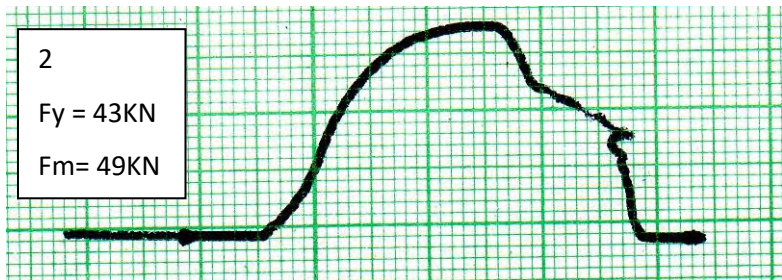
Grafik Hasil Uji Tarik Material Pemanasan Ulang Suhu 600°C



### Lampiran 8



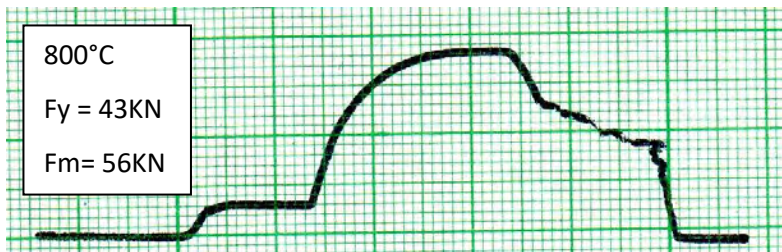
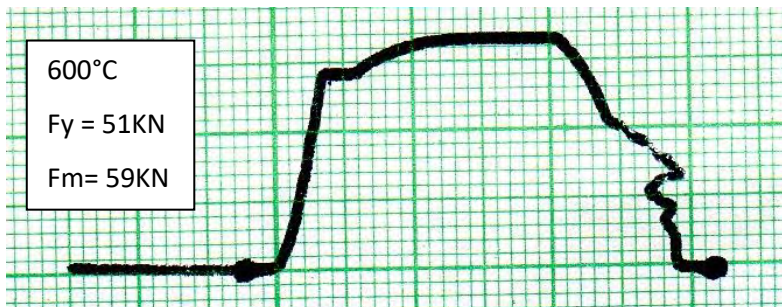
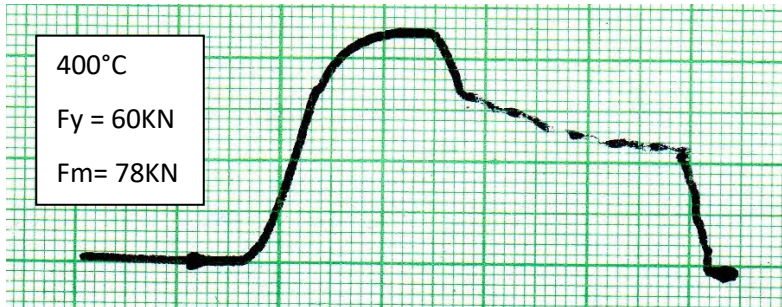
*Grafik Hasil Uji Tarik Material Pemanasan Ulang Suhu 800°C*





### Lampiran 9

Grafik Hasil Uji Tarik Material Pemanasan Ulang Non-Tempa  
Suhu 400°C, 600°C, 800°C



**Perhitungan Hasil Uji Tarik Material Pemanasan Kembali  
Suhu 400°C No. 2**

No.	Tebal	Lebar	A0	L0	L1	Fm	Fy
3.2	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	mm	KN	KN
1	9	12,4	111,6	60,3	71,68	77	60

- Perhitungan UTS**

$$UTS = \sigma_u = F_{\max} / A_0$$

$$UTS = \sigma_u = 77000 \text{ N} / 111,6 \text{ mm}^2$$

$$UTS = \sigma_u = 689,96 \text{ MPa}$$

- Perhitungan Yield Strength**

$$F_y = \sigma_y = F_y / A_0$$

$$F_y = \sigma_y = 60000 \text{ N} / 111,6 \text{ mm}^2$$

$$F_y = \sigma_y = 537,63 \text{ MPa}$$

- Perhitungan Presentase Elongasi**

$$D_o = (\epsilon_f) \times 100 \%$$

$$D_o = ((L - L_o) / L_o) \times 100 \%$$

$$D_o = ((71,68 \text{ mm} - 60,3 \text{ mm}) / 60,3 \text{ mm}) \times 100 \%$$

$$D_o = ((11,38 \text{ mm}) / 60,3 \text{ mm}) \times 100 \%$$

$$D_o = (0,1887) \times 100 \%$$

$$D_o = 18,87\%$$

- Perhitungan Ketangguhan**

$$U_T = \sigma_u \cdot \epsilon_f$$

$$U_T = 689,96 \text{ MPa} \cdot 0,1887$$

$$U_T = 130,21$$

## Material No. 2 pemanasan kembali suhu 400°C

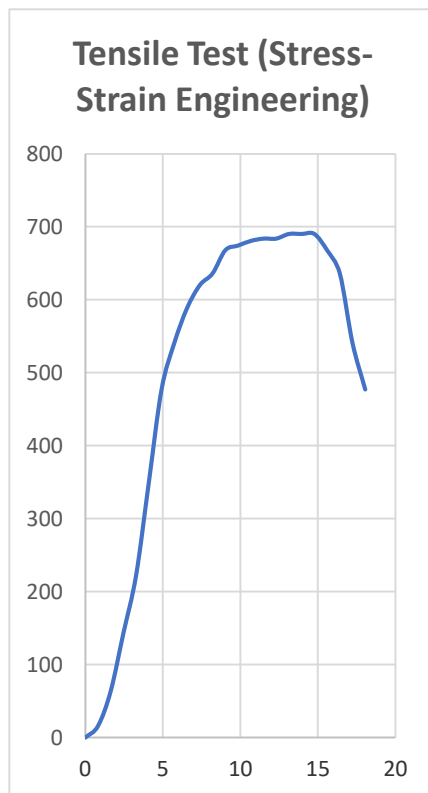
Tabel tegangan regangan

No.	$\Delta L$ (mm)	F (KN)	Tegangan	Regangan
			(MPa)	(%)
1	0	0	0	0
2	0,49	1,77	15,90	0,82
3	0,99	7,10	63,59	1,64
4	1,48	15,97	143,08	2,46
5	1,98	24,84	222,57	3,28
6	2,47	39,03	349,75	4,10
7	2,97	53,23	476,93	4,92
8	3,46	60,32	540,52	5,74
9	3,96	65,65	588,22	6,56
10	4,46	69,19	619,95	7,39
11	4,95	70,97	635,91	8,21
12	5,44	74,52	667,71	9,03
13	5,94	75,23	674,07	9,85
14	6,43	75,94	680,43	10,67
15	6,93	76,29	683,61	11,49
16	7,42	76,29	683,61	12,31
17	7,92	77,00	689,96	13,13
18	8,41	77,00	689,96	13,95
19	8,91	77,00	689,96	14,77
20	9,40	74,52	667,71	15,59
21	9,90	70,97	635,91	16,41
22	10,39	60,32	540,52	17,23
23	10,89	53,23	476,93	18,05
24	11,38	51,81	464,22	18,87

Data hasil uji tarik

No.	Tebal	Lebar	A0	L0	L1	Fm	Fy
	mm	mm	mm	mm	mm	kN	kN
1	9	12,4	111,6	60,3	71,68	77	60

Grafik material suhu 400°C



F	F	P	F	F	F	F	F	F	F
F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
P	P	P	F	F	F	F	F	F	F
P	P	P	P	F	F	F	P	F	P
P	F	F	P	F	F	F	P	P	P
P	P	P	P	F	F	P	P	P	F
P	P	P	F	F	F	P	F	F	F
P	P	P	F	F	F	P	P	P	P
F	P	F	F	F	F	F	F	F	P
F	P	F	F	P	F	F	F	F	F

Perhitungan Fase Material Awal

- PEARLITE

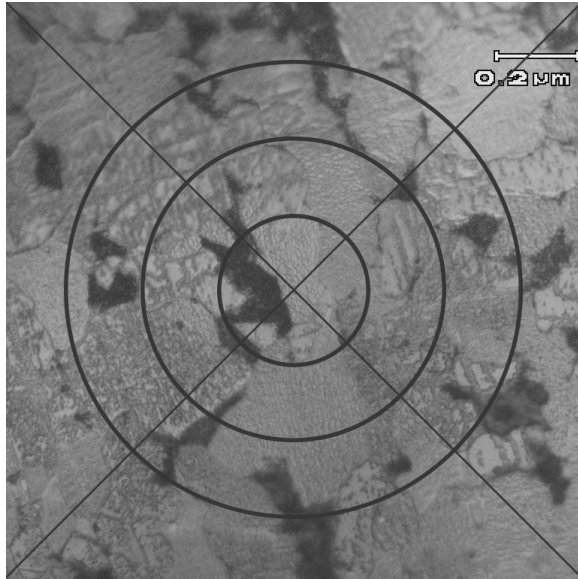
$$P_{Ms}(\%) = \frac{Q_{Ms}(\%)}{Q_0} \times 100\%$$

$$P_{Pearlite}(\%) = \frac{(36)}{100} \times 100 = 36\%$$

- Ferrite

$$P_{Ferrite}(\%) = \frac{(64)}{100} \times 100\% = 64\%$$





### Perhitungan Grain Size Material Awal

N = Jumlah titik potong batas butir yang terkena garis lingkaran

$$N = 42$$

$$L_t = 500$$

$$M = 1000$$

$$G = \left( -6.645 \log \frac{500}{42 \times 1000} \right) - 3.298$$

$$G = 9,48$$

$$G = 9,5$$

Dilihat tabel Number of Grain Size di tabel ASTM E112

Grain size number 9,5 maka mempunyai besar diameter sebesar 0,0133 mm

## BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 12 Juli 1995 di Kota Madiun, Provinsi Jawa Timur. Pendidikan formal yang pernah ditempuh meliputi MI Islmaiyah Kota Madiun, SMPN 01 Kota Madiun, dan SMAN 02 Kota Madiun. Setelah itu penulis meneruskan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Program Studi D3 Teknik Mesin dan mengambil bidang studi Manufaktur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2014.

Selama masa pendidikan di perkuliahan penulis aktif mengikuti kegiatan yang diadakan oleh Himpunan D3 Teknik Mesin ITS, mulai dari pelatihan sebagai peserta maupun panitia. Serta mengikuti organisasi di himpunan sebagai staf HUMAS 2015-2016, staf BEM FTI-ITS 2015-2016.

Dalam pengerjaan tugas akhir ini penulisan membutuhkan waktu pengerjaan kurang lebih 5 bulan pada semester 6 pendidikan di D3 Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi-ITS. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dan ingin berdiskusi lebih luas lagi dapat menghubungi E-mail: [tadjudinawijaya@yahoo.co.id](mailto:tadjudinawijaya@yahoo.co.id)